Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta materiálově-technologická
Katedra managementu kvality

# Snižování variability systému měření ve výrobní společnosti
# Reducing the Variability of the Measurement System in the Production Company

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2019 Bc. Ivana Dočkalová

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta materiálově-technologická
Katedra managementu kvality

# Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ivana Dočkalová**

Studijní program: N3922 Ekonomika a řízení průmyslových systémů

Studijní obor: 3902T062 Management kvality

Téma: Snižování variability systému měření ve výrobní společnosti
Reducing the Variability of the Measurement System in the Production Company

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická východiska řešené problematiky.
2. Analýza současného stavu provádění a vyhodnocování analýz systémů měření ve společnosti, definování slabých míst.
3. Realizace analýzy vybraného systému měření.
4. Návrhy na zlepšení, závěry a doporučení.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. PLURA, Jiří. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2001, 244 s. ISBN 80-722-6543-1.
2. JURAN, Joseph M. a Joseph DEFEO. Juran's quality handbook: the complete guide to performance excellence. 6th ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2010, xxi, 1113 p. ISBN 007162934.
3. Analýza systému měření. QS 9000: MSA. 4. vyd., Praha: Česká společnost pro jakost, 2010, 231s., ISBN 978-80-02-02326-5.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Mgr. Petra Halfarová, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2018
Datum odevzdání: 23.04.2019

prof. Ing. Jiří Plura, CSc.
*vedoucí katedry*

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
*děkanka fakulty*

# Zásady pro vypracování diplomové práce

## I.

Diplomovou prací (dále jen DP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

## II.

Uspořádání diplomové práce:

1. Titulní list
2. Originál zadání DP
3. Zásady pro vypracování DP
4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení
5. Prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním DP
6. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky
7. Obsah DP
8. Textová část DP
9. Seznam použité literatury
10. Přílohy

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání DP student obdrží na své oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování diplomové práce" následují za originálem zadání DP.

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání DP.

ad 5) V případě, že DP vychází ze spolupráce s jinými právnickými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním DP.

ad 6) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 7) Obsah DP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části DP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 8) Textová část DP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním DP;
- Vlastní rozpracování DP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků DP z hlediska stanoveného zadání.

DP bude zpracována v rozsahu min. cca 45 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého neleskleho papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 10).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 9) DP bude obsahovat alespoň 15 literárních odkazů, z toho nejméně 5 v některém ze světových jazyků. Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu DP.

ad 10) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

## III.

Diplomovou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*

*Fakulta materiálově - technologická*

*Katedra* . . . . . .

uprostřed: *DIPLOMOVÁ PRÁCE*

dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení DP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

## IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování diplomové práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem magisterského, resp. navazujícího magisterského studia Fakulty materiálově – technologické, Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2018/2019.

Ostrava 12. 11. 2018

**Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.**
děkanka Fakulty materiálově- technologické
VŠB-TU Ostrava

## Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala všem osobám, které mi byly oporou při tvorbě diplomové práce, zejména paní *Ing. Mgr. Petře Halfarové, Ph.D.* za odborné vedení, informace a cenné připomínky, vstřícný přístup a příjemnou spolupráci, která mi pomohla při zpracování diplomové práce.

# P R O H L Á Š E N Í

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 – školní dílo);

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3);

- souhlasím s tím, že diplomová práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB – TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;

- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;

- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);

- beru na vědomí, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

**Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval(a) samostatně.**

V Ostravě 19. 4. 2019

.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

# PROHLÁŠENÍ ZÁSTUPCE SPOLUPRACUJÍCÍ PRÁVNICKÉ NEBO FYZICKÉ OSOBY

Diplomová práce „Snižování variability systému měření ve výrobní společnosti", Bc. Ivana Dočkalová vychází ze spolupráce s právnickou osobou, která si nepřeje být zveřejněna.

Zástupce spolupracující osoby podepsal souhlas se zveřejněním diplomové práce „Snižování variability systému měření ve výrobní společnosti", Bc. Ivana Dočkalová dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských studijních programech VŠB -TU Ostrava, který je uložen u proděkana pro pedagogickou činnost FMT.

# Abstrakt

Náplní této diplomové práce je měření nerezového pouzdra pro hřídel. Jejím cílem bude vyhodnotit současný systém měření ve firmě a určit, jestli je tento systém pro dané měření vyhovující. V případě zjištění nedostatků budou navrženy metody pro jeho optimalizaci. Pro ověření a porovnání výsledků metodou MSA jsou výsledky zpracované v programu MS Excel a ty pak porovnány s výsledky zpracovanými v programu Minitab.



Klíčová slova:

Analýza systému měření, opakovatelnost a reprodukovatelnost, metoda rozpětí, metoda průměru a rozpětí, ANOVA, MS Excel, Minitab



# Abstract

The aim of this diploma thesis is to measure the stainless steel housing for the shaft. Its aim going to be evaluate the current measurement system in the company and to determine whether this system is satisfactory for the measurement in complying. If deficiencies are identified, methods will be proposed to optimise them. For the verification and comparison of results by the MSA method, the results produced by the MS Excel programme are compared with the results produced by the Minitab programme.



Key Words:

Measurement systems analysis, Repeatability and Reproducibility, Range method, Average and Range method, ANOVA, MS Excel, Minitab

# Seznam použitých zkratek

| | |
|---|---|
| MSA | Measurment system analysis (Analýza měřícího systému) |
| TQM | Total quality management (Celkové řízení kvality)) |
| 6σ | Six Sigma (6 Sigma) |
| PDCA | Plan, Do, Check, Act (Plánuj, Proveď, Ověř, Jednej) |
| R&R | Repeatability and Reproducibility (Opakovatelnost a Reprodukovatelnost) |
| ANOVA | (Analýza rozptylu) |
| RM | Range method (Metoda rozpětí) |
| ARM | Average and Range method (Metoda průměru a rozpětí) |
| UCL | Upper Control Limit (Horní regulační mez) |
| LCL | Lower Control Limit (Dolní regulační mez) |
| LSL | Lower Specification Limit (Dolní toleranční mez) |
| USL | Upper Specification Limit (Horní toleranční mez) |
| CL | Central Line (Centrální přímka) |
| EV | Equipment Variation (Opakovatelnost měření) |
| AV | Appraiser Variation (Reprodukovatelnost měření) |
| PV | Parts Variation (Variabilita mezi vzorky) |
| TV | Total Variation (Celková variabilita) |

# Obsah

# Úvod

Společnosti využívají Management jakosti především pro zabezpečení kvality výrobku i výrobního procesu proti náhodným chybám ve výrobě a snižování nákladů na zmetkovitost, pro udržení vysoké úrovně kvality a splnění požadavků zákazníků. Minimalizováním nákladů může společnost získat konkurenční výhodu na trhu, proto je analýza výrobků a výrobních postupů velmi důležitá.

Různých způsobů k využívání naměřených údajů je v této době více než kdykoli předtím. Mnoho důležitých rozhodnutí, jak vyladit výrobní procesy, je založeno právě na naměřených hodnotách. Z dat se získávají údaje pro statistiky, které se pak porovnávají s regulačními mezemi konkrétního procesu. Srovnáváním údajů lze dokázat, jestli sledovaný proces je, anebo není zvládnutý. Na základě zjištění se musí provést nějaký druh zlepšení, tzn. zásah do samotného procesu. Jestliže je srovnání ve statistických regulačních mezích, samotný proces proběhne bez větších zásahů. Naměřená data lze porovnávat také mezi dvěma nebo více proměnnými, výsledky pak ukáží, zda existuje mezi nimi souvislost a jak významná je. Předpokládaná spojitost se zkoumá pomocí statistické metody, která je pojmenována jako Regresní analýza.

# 1 Teoretická východiska řešeného problému

Měření, která jsou prováděna v organizacích a jejichž výsledky se stále častěji používají pro kontrolu výrobních procesů, uvolňování hotových výrobků z výroby nebo rozhodování o přijetí vstupních surovin a jejich následné naskladnění, nám umožňují měřící systémy.

Měřicí systém MSA je sestaven ze tří komponentů, které vzájemně rozhodují o jeho vlastnostech a možnosti použití:

a) metoda měření;
b) hardware a software, který se používá pro měření;
c) zaměstnanci provádějící měření.

Měřicí systémy by měly zaručit, že údaje výsledného měření jsou vhodné pro statistické vlastnosti a mají odpovídající kvalitu. Těmito vlastnostmi jsou nejčastěji: odchylka týkající se údajů o poloze vzhledem k referenční hodnotě a rozptyl údajů. Analýza systémů měření má zajistit to, aby výsledky měření mohly být použity ve výrobním procesu a přijaty organizací k jejich dalšímu využití.

Organizace ví, že jen málo systémů měření přináší výsledky, které mají nulovou hodnotu s odchylkou statistické chyby. Organizace potřebují znát nedokonalost použitých měřicích systémů. [12]

## 1.1 Analýza systému měření obsahuje dvě etapy

V první etapě záleží na správném ověření měření pro příslušné proměnné a na tom, zdali je měření dostatečné pro jeho další využití – statistické vlastnosti se dále využívají v organizaci. Tato etapa by měla být provedena před samotným použitím systému v organizaci. Dalším úkonem analýzy je stanovit, zda režim může požadovat zvláštní podmínky pro zajištění správnosti výsledku měření.
Pokud existují zvláštní podmínky prostředí, jako jsou například teplota, vlhkost vzduchu anebo osvětlení, které mohou mít významný dopad na kvalitu měření, organizace musí tyto hodnoty sledovat a dohlížet na to, aby zajistila minimalizaci dopadu na špatné výsledky měření.

Úkolem druhé etapy analýzy měřicího systému je ověřit, zdali bude mít systém měření poté, co se začne používat v organizaci, vhodné statistické vlastnosti. Druhá etapa je velmi často považována za součást celkového systému řízení měření, které obsahuje mj. i část, jako je dohled nad zařízením používaným k měření a zajištění jejich soudržnosti. Kvalita měřicího systému je zpravidla určena výhradně prostřednictvím vlastnictví statistických údajů, které produkuje.

Musíme znát náklady na dobu nezbytnou k provedení samotného měření, protože je to pro organizaci velice důležité, ale rozhoduje i kvalita systému.

### 1.1.1 Řízení kvality

Kvalita je zaměřena na zákazníka ať už přímého nebo nepřímého a největší snahou je dosažení jeho spokojenosti. Systém řízení kvality se prolíná celou organizací. Je vhodným způsobem definován formou interních předpisů. Řízení kvality slouží k neustálému zlepšování, výsledkem jsou efektivnější procesy, které ve svém důsledku napomáhají ke snižování nákladů a zvyšování produktivity. Vhodným nástrojem pro kontrolu efektivnosti jsou interní nebo externí audity. V dnešní době je zlepšování pro organizaci nezbytnou nutností, chrání ji před konkurencí. Nekvalitním výrobkem může firma přijít o zákazníky, podíl na trhu a pověst. Klíčovým ukazatelem kvality je rostoucí spokojenost a loajální zákazníci. [12]

### 1.1.2 MSA – Measurement system analysis (Analýza měřícího systému)

Metoda MSA slouží k pochopení samotného procesu měření, k analýze velikosti chyby a k tomu, jestli je systém měření vhodný.

- Systém měření – obsahuje soubor operací, pracovních postupů, měřidel, popřípadě další potřebné vybavení, např. software a operátory. Jedná se o ucelený proces, který se využívá k posouzení a vyhodnocení výsledků ze systému měření.
- Měřidla – jsou definovaná a musí se rozčlenit a označit. Operátor má prokazatelné znalosti k používání potřebného měřidla.

Základní rozdělení měřidel:

- etalony;
- kontrolní měřidla;
- pracovní měřidla stanovená;
- pracovní měřidla nestanovená;
- informativní (orientační) měřidla.

Metoda MSA je samozřejmě součástí systému řízení jakosti:

- QS 9000;
- TQM;
- Six Sigma.

Metoda MSA byla vyvinutá pro automobilový průmysl, ale vzhledem k tomu, že je velice praktická a není složitá, začala se používat i v jiných oborech. Metoda MSA se využívá k posouzení kompletního systému měření. Analyzuje zdroje nejistot v celém procesu měření a vychází z toho, že pro samotné měření je nedostačující jen měřidlo a že na výsledek mohou působit i jiné faktory. Úkolem je zjistit vliv různých faktorů na výslednou variabilitu měření a jejich výsledný dopad v celém procesu na proměnlivost výsledků, např. operace, postup, měřidlo, operátor. [13] [16]

V metodě MSA je kladen veliký důraz na opakovatelnost a reprodukovatelnost měření. [1] [18]

Základní kroky metody MSA:

- stanovit způsobilost systému měření;
- stanovit zdroje variability systému měření;
- definovat zdroje variability statistickými a metrologickými veličinami;
- dodat potřebné informace o systému měření.

### 1.1.3 ČSN ISO 9001:2016 – Systémy managementu kvality - Požadavky

Mezinárodní norma popisuje základní požadavky pro přijímání procesního přístupu při vývoji, zavádění a zlepšování efektivnosti systému managementu kvality s cílem uspokojit zákazníka a plnit jeho základní požadavky. Aplikaci systému procesů v organizaci spolu s identifikací těchto procesů, jejich vzájemné působení a řízení lze nazývat „Procesní přístup“.

V normě je uvedený model procesně orientovaného systému managementu kvality, tzv. PDCA. [14]

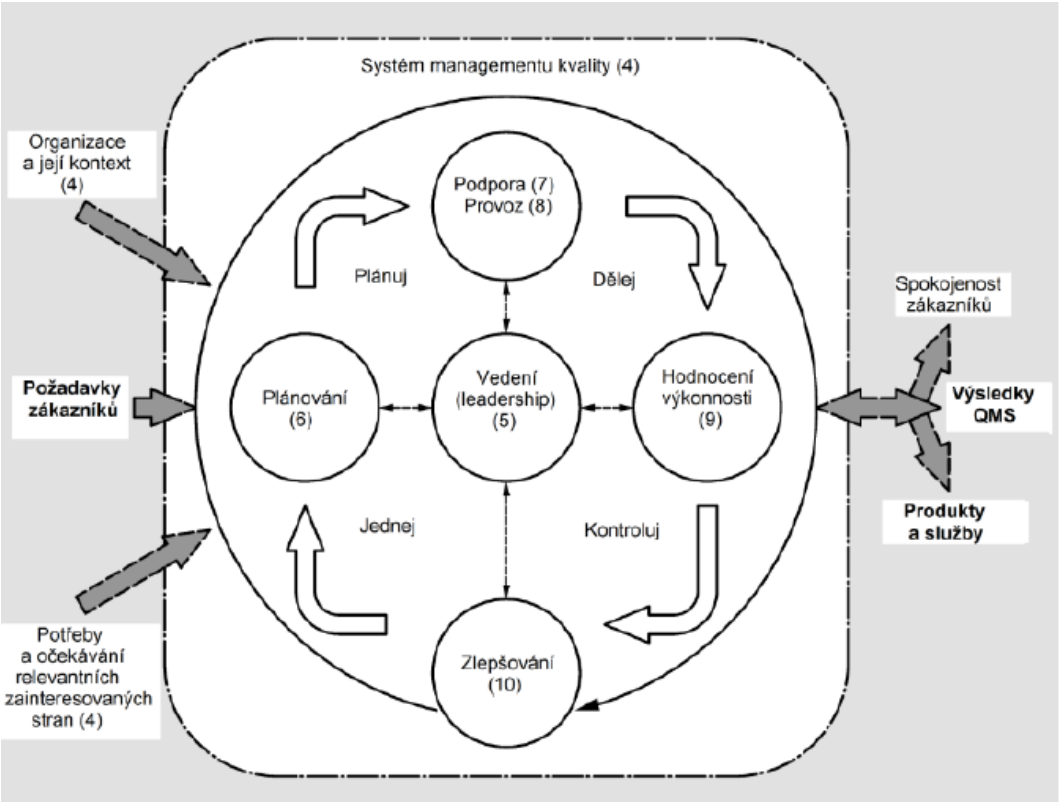
Metodologii **PDCA** lze ve stručnosti popsat **čtyřmi pokyny:**

1) **Plánuj (Plan)** - urči cíle systému a procesy k jejich dosažení v souladu s požadavky zákazníka a politikou organizace, identifikuj rizika a zaměř se na ně.

2) **Dělej (Do)** – implementuj to, co bylo naplánováno.

3) **Kontroluj (Check)** - monitoruj a měř procesy a výsledné produkty a služby ve vztahu k politikám, cílům, požadavkům a plánovaným činnostem a podávej zprávy o výsledcích.

4) **Jednej (Act)** – přijímej opatření pro neustálé zlepšování výkonosti. [7]




Obrázek 1 Znázornění struktury mezinárodní normy ISO 9001 v cyklu PDCA[7]

### 1.1.4 Význam MSA – Measurement system analysis

Metoda MSA analyzuje, zdali je měření možno opakovat a je-li reprodukovatelné. Metoda MSA se v praxi občas zaměňuje s pojmem „Nejistota měření“, jedná se však o nepřesnost. Nejistota měření je spjata s výsledkem nějakého měření a je charakterizována množstvím hodnot, které lze přiřadit k dané naměřené veličině. Hlavní úlohou metody MSA je ověřit, jaká část z úplné variability způsobuje kolísání v daném procesu a kolikrát způsobí proměnlivost výsledků měření. Toto posouzení vychází ze statistických výsledků ověřovaných měření. Při posuzování vhodnosti systému měření lze vypočítat mnoho ukazatelů. Jedním z nejznámějších ukazatelů je R & R (Repetability and Reproducibility – Opakovatelnost a Reprodukovatelnost). [16]

Veškeré výpočty mohou být doplněny různými grafickými analýzami nebo vypočítány různými metodami, např. metodou rozpětí, metodou rozpětí a průměru, metodou ANOVA.

- Opakovatelnost (Repetability) - opakovatelnost je variabilita výsledku měření, které získáme jedním měřicím přístrojem. Tento přístroj byl použit jedním pracovníkem pro opakované měření stejných charakteristik na stejném výrobku. (Také se jí říká inherentní přesnost měřicího zařízení).
- Reprodukovatelnost (Reproducilibity) - reprodukovatelnost je variabilita průměru měření prováděných různými pracovníky, kteří používají stejné měřidlo pro měření stejné charakteristiky na stejném výrobku. Jde o variabilitu systému měření, která je způsobena rozdílností (chování) hodnotitelů.[8]

### 1.1.5 Rozbor způsobilosti procesů u výrobního zařízení

Hlavním bodem, který určuje kvalitu výrobků, je kvalita procesů. Nejlepším kritériem pro vyhodnocení procesů je jeho způsobilost, to znamená schopnost procesu trvale poskytovat výrobky, jež splňují požadovaná kritéria kvality. Rozbory způsobilosti procesu provádíme už v průběhu plánování kvality v rámci ověřování výroby. Získaná data nám poskytnou informace ohledně schopnosti navrženého procesu trvale zajistit výrobky v požadované kvalitě. Analýza dat může proces dále zlepšovat. Organizace může následně zákazníka informovat o tom, že výrobky

vznikají ve stabilních výrobních podmínkách. Velmi důležité informace o způsobilosti výrobního zařízení lze dále využít k posouzení míry variability sledovaného znaku kvality daného výrobního zařízení a variability z dalších zdrojů – materiály, operátoři, údržba zařízení, procesy atd.

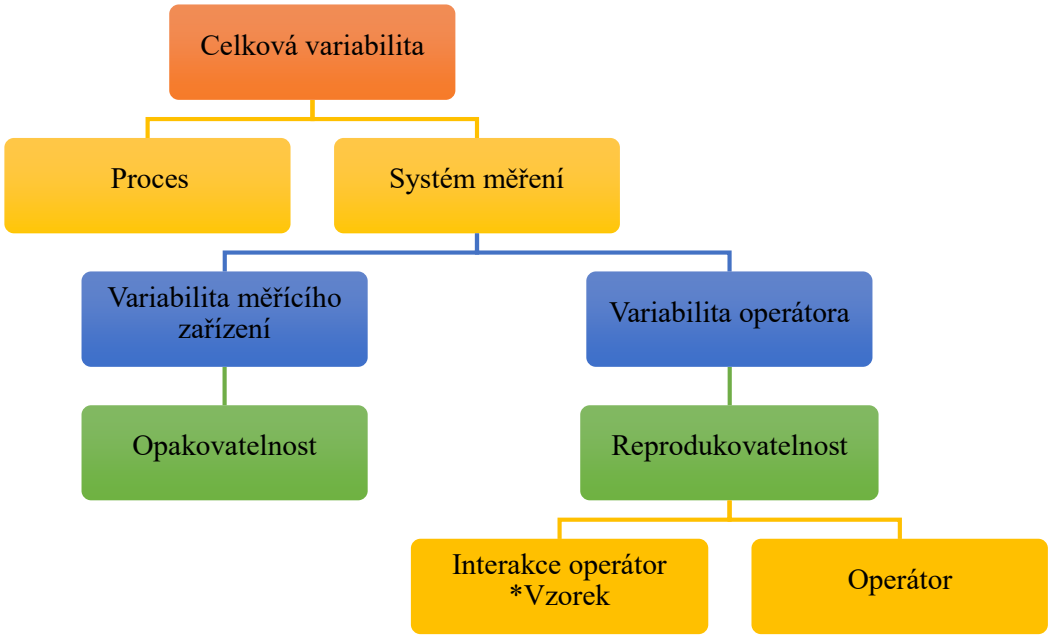
První podmínkou je, že hodnocený proces musí být ve statisticky zvládnutém stavu. Druhá podmínka musí být naplněna v rozdělení sledovaného znaku kvality a musí odpovídat normálnímu rozdělení. [12] [13]

Postup analýzy způsobilosti procesu na základě měřitelných znaků:

- zvolení znaku kvality;
- ověření systému měření;
- sbírání údajů;
- rozbor shromážděných údajů;
- ověření funkce sledovaného znaku kvality;
- rozbor statisticky zvládnutého procesu;
- výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání s požadovanými hodnotami.

## 1.2 Charakteristika polohy systému měření

Využíváním základních metod analýzy systému měření se dá získat normální pravděpodobnostní rozdělení. Celková variabilita systému měření je popsána skoro u všech procesů měření jako normální rozdělení. Ale v praxi se objevují měřící systémy, které nejsou takto běžně rozděleny a v tomto případě analýza systému měření může nadhodnotit chybu měření. [1]



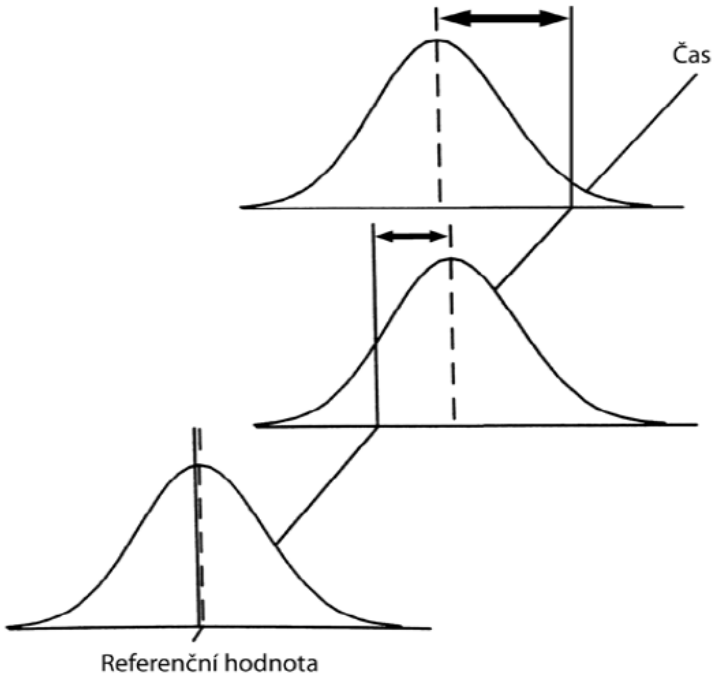

Obrázek 2 Rozdělení celkové variability zaznamenaných dat [8]

### 1.2.1 Stabilita

Stabilita systému měření (Drift) je definována jako celková variabilita středních hodnot výsledků měření, které získáme měřením jednoho určeného znaku v přijatelném dlouhém časovém úseku. Stabilitu tedy charakterizujeme jako změnu strannosti v čase. [1], [9]

Případné příčiny nestability:

- nesprávná kalibrace;
- poškozený přístroj;
- poškozený měřící přípravek;
- degradace materiálu;
- údržba – elektrických, hydraulických a mechanických částí.



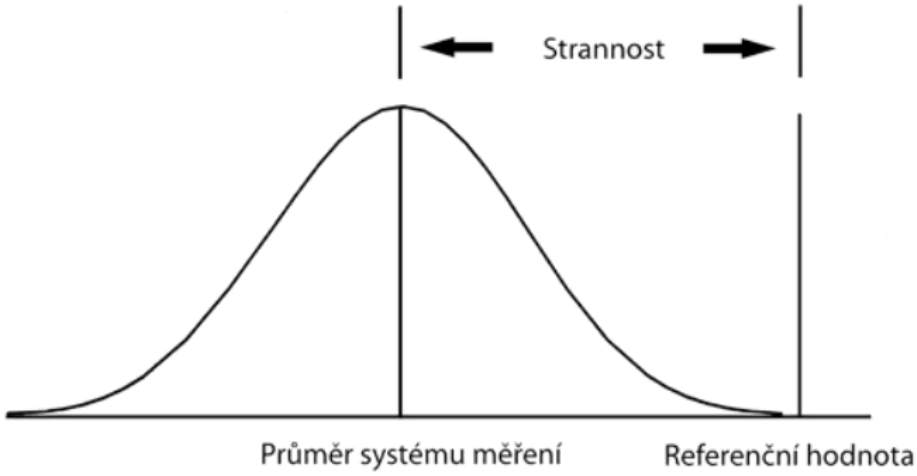

Obrázek 3 Stabilita Měření [1]

### 1.2.2 Strannost

Strannost systému měření (Bias) je určitá hodnota systematické chyby a můžeme ji charakterizovat jako rozdíl mezi aritmetickým průměrem naměřených opakovaných hodnot se stejným znakem a akceptovatelnou referenční hodnotou. Měříme etalon anebo výrobek, naměřená hodnota může být kladná nebo záporná, ale nejlepší výsledek je hodnota nula. [1], [9]

Jestliže je strannost výsledků měření příliš velká, je nutno prověřit potenciální příčiny jako jsou např.:

- chybná kalibrace – nesprávná, propadlá;
- nevhodné měřidlo – jiná metoda měření;
- chyba měřidla – opotřebení;
- poškozené měřidlo – Etalon;
- operátor – špatná poloha měření, neznalost;
- chyba linearity;
- prostředí – teplota, vlhkost, vibrace, čistota.




Obrázek 4 Strannost měření [1]

Z naměřených hodnot se vypočítá bodový odhad strannosti měření podle vzorce:

$$\hat{B}i = \bar{x} - x_r \tag{1}$$

kde:

$\bar{x} - aritmetický\ průměr\ všech\ měření$

$x_r - přijatá\ referenční\ hodnota\ vzorku$

Vypočítaný odhad strannosti nám neumožní posoudit, jestli je hodnota statisticky významná, a proto je nutné použít test. Ten ověří, jestli systém měření vyhovuje opakovatelnosti, jinak by se mohlo stát, že i nejvyšší hodnota strannosti by mohla být statisticky nevýznamná. Výběrová směrodatná odchylka opakovaných měření totožného znaku se počítá procentuálním podílem opakovatelnosti z celkové variability (% EV) podle vzorce:

$$\%EV = \frac{s}{TV} \cdot 100 = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}}{TV} \cdot 100 \qquad (2)$$

kde:

$s - výběrová\ směrodatná\ odchylka\ opakovaných\ měření\ stejného\ znaku$

$TV - celková\ variabilita\ odhadovaná\ pomocí\ směrodatné\ odchylky$

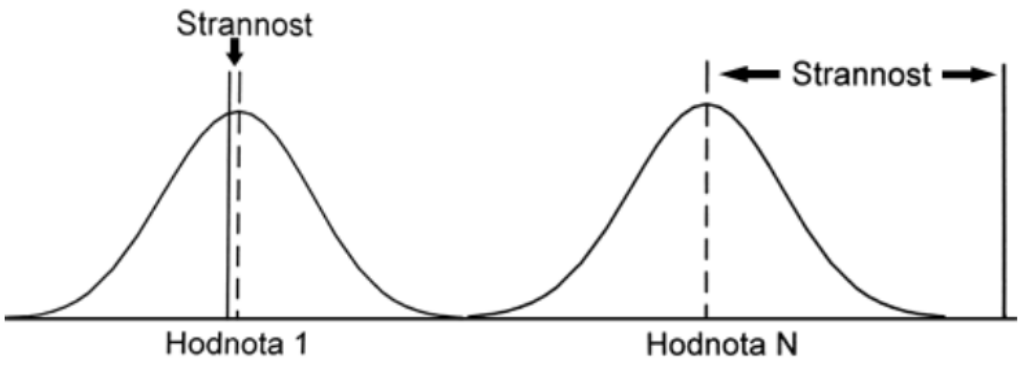
$výrobního\ procesu$

### 1.2.3 Linearita

Linearita systému měření (Linearity) je definovaná jako rozdíl mezi hodnotami strannosti v předepsaném pracovním rozsahu systému měření. Při hodnocení se posuzuje pracovní rozsah a závislost hodnoty strannosti na velikosti naměřené hodnoty. [1] [9] [14]

U nelineárního měřidla můžeme najít několik příčin:

- měřidlo není kalibrováno;
- propadlá kalibrace;
- konstrukční vady měřidla;
- opotřebované nebo poškozené měřidlo;
- nevhodné měřidlo;
- nesprávná metoda měření.




Obrázek 5 Linearita měření z knihy MSA

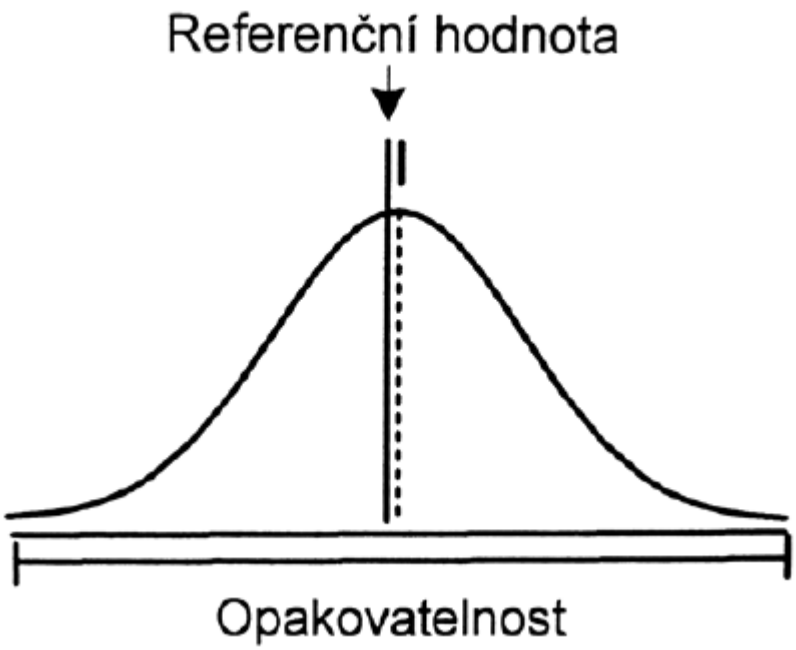
## 1.3 Charakteristika variability systému měření

### 1.3.1 Opakovatelnost

Opakovatelnost systému měření (Repeatability) je vlastnost variability systému měření a předpokládá možnost opakovatelnosti. V tomto případě opakovatelnost znamená splnění podmínky, že jeden stejný výrobek bude změřen stejným operátorem a tím totožným měřícím přístrojem v co možná nejkratším čase. Opakovatelností můžeme vyjádřit variabilitu a ta je vyvolána náhodnými příčinami variability, které působí uvnitř systému měření. [1] [9]

Při opakovatelnosti měření se mohou vyskytovat tyto chyby:

- vada na měřeném výrobku;
- chyba na měřícím přístroji;
- nezkušený operátor;
- proměnlivé pracovní prostředí;
- špatně nastavený proces.



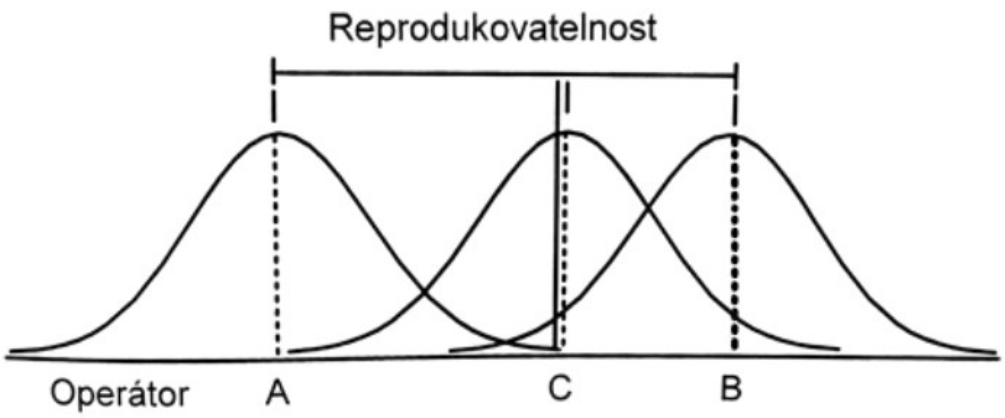

Obrázek 6 Opakovatelnost měření [1]

### 1.3.2 Reprodukovatelnost

Reprodukovatelnost systému měření (Reproducibility) lze popsat jako variabilitu středních průměrných hodnot, což znamená, že se totožný výrobek měří v různých podmínkách. Různými podmínkami rozumíme větší množství operátorů, kteří provádějí stejná anebo rozdílná měření na jiných místech výrobku, popřípadě využívají rozdílných metod měření. [1] [9] [17]

Můžeme definovat případné chyby při reprodukovatelnosti:

- měřené díly;
- chyba Etalonu;
- rozdílná metoda;
- rozdílné schopnosti operátorů;
- proměnlivá prostředí.




Obrázek 7 Reprodukovatelnost měření [1]

### 1.3.3 Konzistence

Konzistence systému měření (Consistency) úzce souvisí se stabilitou systému měření. Hlavní úlohou konzistence je posoudit změnu opakovatelnosti v čase a je statisticky zvládnutým procesem vzhledem k variabilitě. [1], [9]

Příčiny, které ovlivňuji konzistenci:

- teplota jednotlivých částí;
- příliš opotřebené zařízení.

### 1.3.4 Uniformita

Uniformita systému měření (Uniformity) vyhodnocuje změnu opakovatelnosti v pracovním rozsahu systému měření. Uniformita systému měření nám poskytne informaci, jestli je opakovatelnost systému měření závislá na velikosti naměřené hodnoty. Výsledky uniformity zároveň doplňují analýzu linearity systému měření, tak jako výsledky konzistence doplňují analýzu stability systému měření. [9]

Důvody ovlivňující uniformitu:

- chyba odečtu na stupnici;
- poškozené měřidlo.

### 1.3.5 Citlivost

Citlivost (Sensitivity) je nejmenší vstup, který způsobí zjistitelný výstupní signál, je to tedy způsobilost, jak reaguje systém měření na změny měřené části. [9]

Citlivost je stanovena měřidlem, údržbou a provozním stavem měřidla:

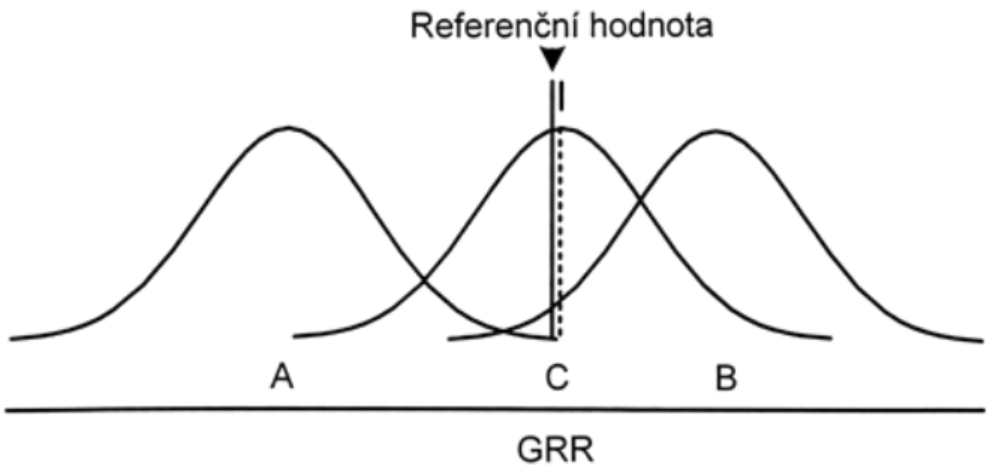
- prostředí – vzduch, teplota, vlhkost;
- druh měřidla;
- kvalifikace operátora;
- etalon.

### 1.3.6 Opakovatelnost a reprodukovatelnost

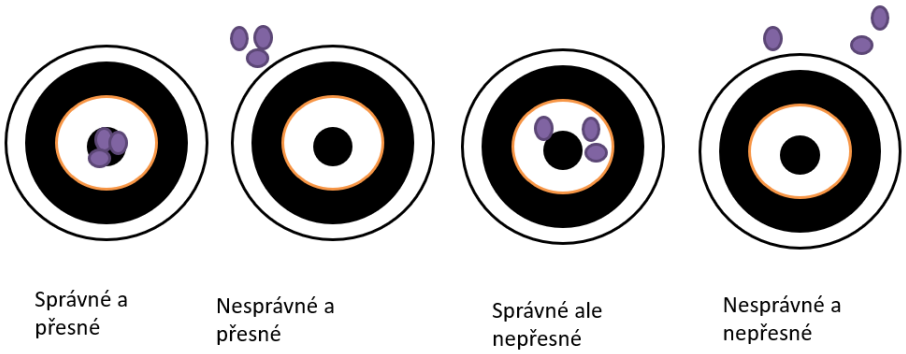
Opakovatelnost a reprodukovatelnost je složená z odhadu systému měření (označujeme GRR nebo Gage R&R), protože v praxi se podmínky neustále mění a není možné zajistit jejich konstantní stav. K vyhodnocování opakovatelnosti a reprodukovatelnosti se využívá např. metoda rozpětí, metoda průměru a rozpětí anebo analýzu rozptylu (ANOVA).

Opakovatelnost a reprodukovatelnost daného měřidla je rozptyl, který je roven součtu rozptylů uvnitř systému a mezi systémy.[1] [11] [14]

$$\sigma_{GRR}^2 = \sigma_{opakovatelnost}^2 + \sigma_{reprodukovatelnost}^2 \tag{3}$$




Obrázek 8 Opakovatelnost a reprodukovatelnost měření [1]




Obrázek 9 Možné variace pro opakovatelnost a reprodukovatelnost

## 1.4 Variabilita systému měření

Chyba systému měření je komplexní implikace všech zdrojů variability. Během řízení výrobku může variabilita systému měření způsobit to, že dobrý výrobek bude označený jako chybný (chyba 1. typu – riziko výrobce, zbytečný pokyn) anebo špatný výrobek bude označen jako dobrý (chyba 2. typu – riziko odběratele, chybějící pokyn). Během řízení procesu bude vykazovat variabilita systému měření podobné dopady (pojmenování náhodné příčiny za specifickou nebo pojmenování specifické příčiny jako náhodné).

### 1.4.1 Způsobilost

Základní způsobilost je složena ze složky strannosti a složky nelinearity a rovněž opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla (Gage R&R) počítaje s krátkodobou konzistencí. Schopnost systému měření je odhad složený z variability chyby měření, který vychází z krátkodobého vyhodnocení.

Jestliže jsou chyby měření náhodné a nezávislé, způsobilost můžeme vyjádřit jako:

$$\sigma^2_{Způsobilost} = \sigma^2_{Strannost} + \sigma^2_{GRR} \tag{4}$$

### 1.4.2 Výkonnost

Je souhrnný účinek všech hlavních a stanovených zdrojů variability v čase. Jedná se o kvantitativní dlouhodobé posuzování (je to odlišnost, jež je založena na krátkodobém vyhodnocení) složených chyb měření (náhodných a systematických).

Výkonnost je složena ze složek způsobilosti, stability a konzistence:

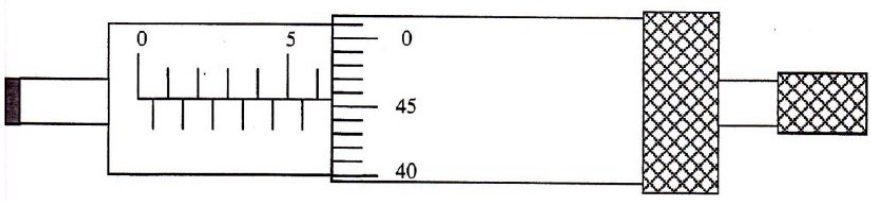
$$\sigma^2_{Výkonnost} = \sigma^2_{Způsobilost} + \sigma^2_{Stabilita} + \sigma^2_{Konzistence} \tag{5}$$

### 1.4.3 Nejistota měření

Analýza systému měření se soustřeďuje na pochopení a zlepšení procesu měření. Na základě informací určíme velikost chyby v procesu a posoudíme přiměřenost použitého systému měření pro každý konkrétní případ. Z jiného pohledu je nejistota interval hodnot, který je úzce svázán s výsledkem měření, a to tak, že jej lze nalézt v přesně daném intervalu (skutečná hodnota naměřené veličiny leží v intervalu hodnot, který je dán nejistotou). [1].

### 1.4.4 Mikrometrické měřidlo

Mikrometrické stupnice se vyznačují tím, že jsou vyrobeny z velmi přesného šroubu a matice. Mikrometrické stupnice se nejvíce používají pro třmenový mikrometr, ale také jsou využity v jiných měřidlech např. měřící mikroskopy. [10]




Obrázek 10 Mikrometrický šroub


Obrázek 11 Popis třmenového mikrometru

#### 1.4.4.1 Odečítání na mikrometrických stupnicích

Při měření se musí dodržet následující postup:

- výrobek se upne mezi měřící plochy;
- mikrometrický šroub se šroubuje „řehtačkou“ dokud „neprokluzuje“;
- mikrometr se zafixuje stavěcím kroužkem;
- mikrometr se klouzavým pohybem sundá z výrobku;
- odečte se hodnota.

Mikrometr se musí správně držet! [10]

## 1.5 Variabilita procesu měření

### 1.5.1 Metoda rozpětí (RM – Range method)

Jestliže je k dispozici omezený počet vzorků a je nutné odhadnout variabilitu, používá se metoda rozpětí. V souboru dat sledovaného znaku se musí vyhledat nejvyšší hodnota a nejnižší hodnota, následně se odečte minimální hodnota od maximální hodnoty. Metoda slouží jako rychlá kontrola přijatelnosti systému měření.

Lze vyjádřit tvrzení, že se jedná o skromný ukazatel variability [1] [9]:

$$R_i = |\max(x_{ik}) - min(x_{ik})| \tag{6}$$

kde:

$x_{ik} - hodnota\ naměřená\ na\ i - tém\ vzorku\ a\ k - tým\ operátorem$

**Průměr rozpětí**

$$\bar{R} = \frac{1}{g}\sum_{i=1}^{g} R_i \tag{7}$$

kde:

$g - počet\ dílů$

**Celková variabilita měření**

$$GRR = \frac{\bar{R}}{d_2^*} \tag{8}$$

kde:

$d_2^* - hodnota\ závislá\ na\ počtu\ operátorů\ a\ počtu\ dílů$

Nakonec se vypočítá %GRR, který vyjadřuje **Procentní podíl směrodatné odchylky** procesu připadající na variabilitu měření.

$$\%GRR = 100\left(\frac{GRR}{\sigma}\right) \tag{9}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{10}$$

kde:

$\sigma - směrodatná\ odchylka\ procesu$

$N - počet\ hodnot$

$x_i - jednotlivé\ naměřené\ hodnoty$

$\bar{x} - aritmetický\ průměr\ naměřených\ hodnot$

### 1.5.2 Klouzavé rozpětí

Pokud nastane situace, kdy měřit nelze, nebo bude měření velice neekonomické, používá se metoda, která využívá naměřené hodnoty z metody rozpětí.

Úzký okruh zvláštních procesů používá metodu klouzavého rozpětí, např. u destruktivní zkoušky.

$$MR = |X_i - X_{i-1}| \tag{11}$$

kde:

$x_i - jednotlivé\ naměřené\ hodnoty$

### 1.5.3 Výběrová směrodatná odchylka

Výběrová směrodatná odchylka se použije u procesu, ve kterém je k dispozici velký rozsah vzorků n > 10.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{12}$$

kde:

$n - počet\ hodnot$

$x_i - jednotlivé\ naměřené\ hodnoty$

$\bar{x} - aritmetický\ průměr\ naměřených\ hodnot$

### 1.5.4 Metoda průměru a rozpětí (ARM – Average and Range method)

Metoda průměru a rozpětí ($\bar{X}$ a R) v systému měření poskytne odhad opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Tato metoda umožní rozdělit systém měření na dvě jednotlivé položky, opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, ale neumožní to vyjádřit jejich vzájemné působení. [1], [9]

Metoda se dá použít jako:

a) metoda průměru a rozpětí s regulačními diagramy;

b) metoda průměru a rozpětí ($\bar{X}$ a $R$).

**Rozpětí naměřených hodnot**

$$R_{ik} = \left|\max(x_{ijk}) - min(x_{ijk})\right| \tag{13}$$

kde:

$x_{ijk} - hodnota\ naměřená\ na\ i - tém\ vzorku, j - tém\ měření,$

$k - tým\ operátorem$

**Průměrné rozpětí** každého operátora, kde se vypočtené rozpětí vydělí počtem změřených vzorků.

$$\bar{R}_k = \frac{1}{g}\sum_{i=1}^{g} R_{ik} \tag{14}$$

kde:

$g - počet\ vzorků$

**Průměr všech rozpětí** – součet rozpětí všech operátorů, který se vydělí počtem operátorů.

$$\bar{\bar{R}}_k = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \bar{R}_k \tag{15}$$

kde:

$n - počet\ operátorů$

**Horní a dolní regulační mez** ($UCL_R$, $LCL_R$) pro regulační diagram rozpětí

$$UCL_R = \bar{\bar{R}}_k \cdot D_4 \tag{16}$$

$$LCL_R = \bar{\bar{R}}_k \cdot D_3 \tag{17}$$

kde:

$D_3, D_4 - konstanty\ závislé\ na\ počtu\ opakování\ měření$

**Aritmetický průměr** pro každého operátora

$$\bar{x}_{ik} = \frac{1}{j}\sum_{j=1}^{m} x_{ijk} \tag{18}$$

kde:

$k - operátor, i - vzorek, j - opakování$

**Aritmetický průměr** součtu naměřených hodnot a vydělený počtem vzorků.

$$\bar{x}_k = \frac{1}{g}\sum_{i=1}^{g} x_{ik} \tag{19}$$

kde:

$g - počet\ vzorků$

**Aritmetický průměr** pro každý díl se vypočítá tak, že se sečtou hodnoty průměru každého operátora pro daný díl a vydělí se počtem operátorů a počtem opakování.

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m \cdot n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} x_{ijk} \tag{20}$$

kde:

$i - díl$

$n - počet\ operátorů$

$m - počet\ opakování$

**Celkový aritmetický průměr**

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \bar{x}_k = \frac{1}{g}\sum_{i=1}^{g} \bar{x}_i \tag{21}$$

**Rozpětí mezi operátory se** vypočítá tak, že se odečte nejmenší hodnotu od největší hodnoty z aritmetického průměru.

$$R_k = max(\bar{x}_k) - min(\bar{x}_k) \tag{22}$$

**Rozpětí průměru** je nejmenší hodnota z průměru pro díl, která je odečtená od největší hodnoty. [14]

$$R_i = max(x_i) - min(x_i) \tag{23}$$

### 1.5.5 Metoda ANOVA (Analýza rozptylu)

Metodou ANOVA můžeme rozdělit opakovatelnost a reprodukovatelnost na dvě jednotlivé části a vyjádřit jejich interakci. Metoda se využívá při analyzování chyb měření a zdrojů variability naměřených údajů. Analýza rozptylu poskytuje mnohem více informací ze stejného množství naměřených údajů. Rozděluje rozptyl do čtyř kategorií (díly, operátoři, interakce mezi díly a operátory, chyba replikace způsobená měřidlem). Nabízí mnohem přesnější odhad rozptylu než předchozí uvedené metody. [1] [9]

**Výhody metody ANOVA:**

- je možné získat mnohem více informací z naměřených údajů;
- z dostupných informací lze získat přesnější odhad rozptylů.

**Nevýhody metody ANOVA:**

- numerické výpočty jsou složitější;
- Jsou kladeny vyšší nároky na uživatele – znalost statistiky.

Numerickou analýzu lze vypočítat podle tabulky 1.

Tabulka 1 Analýza rozptylu [1]

| Zdroj variability | Stupeň volnosti (DF) | Součet čtverců (SS) | Kvadratický průměr (MS) | Poměr (F) |
|---|---|---|---|---|
| Operátor | o – 1 | $SS_O$ | $MS_O = \frac{SS_O}{o-1}$ | $F_O = \frac{MS_O}{MS_E}$ |
| Díly | n – 1 | $SS_N$ | $MS_N = \frac{SS_N}{n-1}$ | $F_N = \frac{MS_N}{MS_E}$ |
| Operátor x díl | (n – 1) (o - 1) | $SS_{NO}$ | $MS_{NO} = \frac{SS_{NO}}{(n-1)(o-1)}$ | $F_{NO} = \frac{MS_{NO}}{MS_E}$ |
| Zařízení | no(r-1) | $SS_E$ | $MS_E = \frac{SS_E}{no(r-1)}$ | |
| Celkem | nor - 1 | $SS_T$ | | |

kde:

$o - počet\ operátorů$

$n - počet\ vzorků$

$r - počet\ opakování$

Druhý sloupec, který je nazván „stupeň volnosti DF“, patří ke zdroji variability a znázorňuje odchylku střední hodnoty daného zdroje. Čtvrtý sloupec „kvadratický průměr MS“ určuje podíl součtu všech čtverců a stupňů volnosti. Poslední sloupec „poměr F“, se stanoví jako podíl kvadratického průměru vypočítaného z předchozího sloupce a střední kvadratické chyby.

Vyhodnocení výsledků metody ANOVA je uvedeno v tabulce 2.

Tabulka 2 Vzorce pro vyhodnocení metody ANOVA

| Odhad rozptylu | 6σ |
|---|---|
| $\tau^2 = MS_E$ | $EV = 6\sqrt{MS_E}$ |
| $\omega^2 = \frac{MS_O - MS_{NO}}{nr}$ | $AV = 6\sqrt{\frac{MS_O - MS_{NO}}{nr}}$ |
| $\sigma^2 = \frac{MS_N - MS_{NO}}{kr}$ | $PV = 6\sqrt{\frac{MS_N - MS_{NO}}{or}}$ |
| $\gamma^2 = \frac{MS_{NO} - MS_E}{r}$ | $I_{AP} = 6\sqrt{\frac{MS_{NO} - MS_E}{r}}$ |
| $GRR = \tau^2 + \omega^2 + \sigma^2$ | $GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2 + I_{NO}^2}$ |
| **Celková variabilita** | $TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$ |

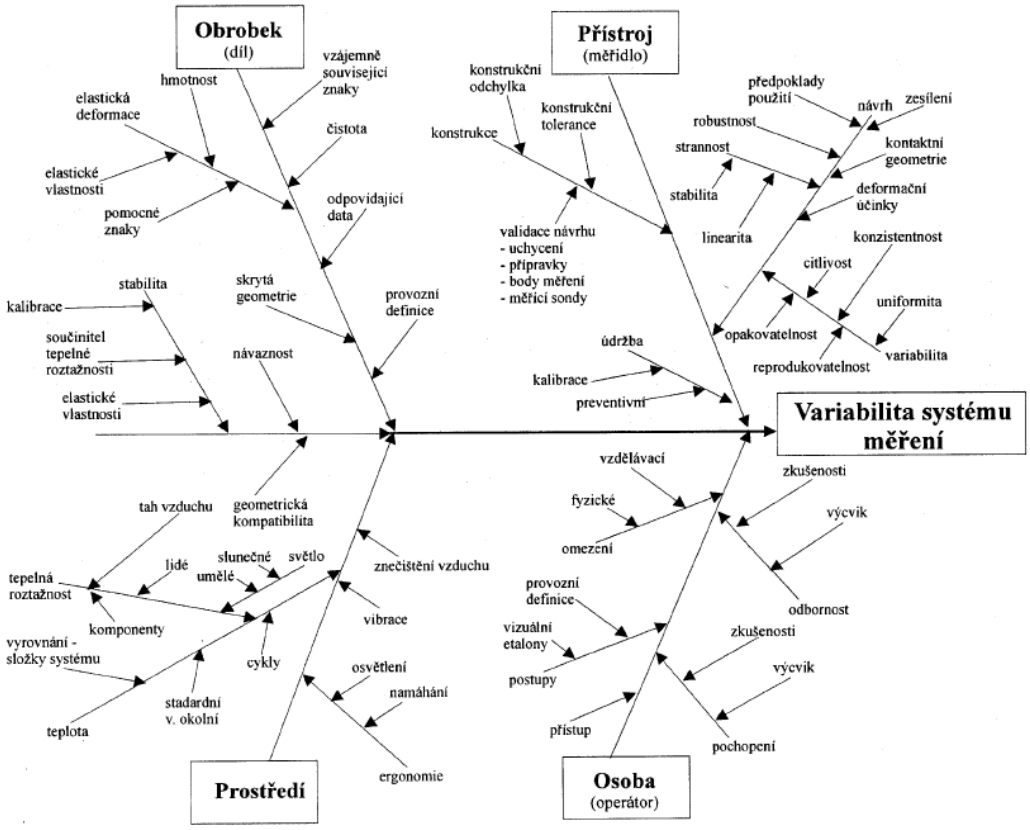
## 1.6 Zdroje variability

Jako u všech ostatních procesů je systém měření ovlivňovaný systematickými a náhodnými zdroji variability. Musí být identifikovány jakékoliv zdroje, aby mohla být správně řízena variabilita systému měření. Identifikované zdroje variability se musí eliminovat, a pokud to není možné, tak je nutné tyto proměnné zdroje sledovat. Jelikož je velmi těžké přesně určit příčiny, lze určit běžné zdroje variability. Jednotlivé příčiny se dají vyjádřit šesti základními prvky označovanými zkratkou S.W.I.P.E.

Jednotlivá písmena vyjadřují:

- S – etalon
- W – obrobek
- I – přístroj
- P – postup
- E – prostředí

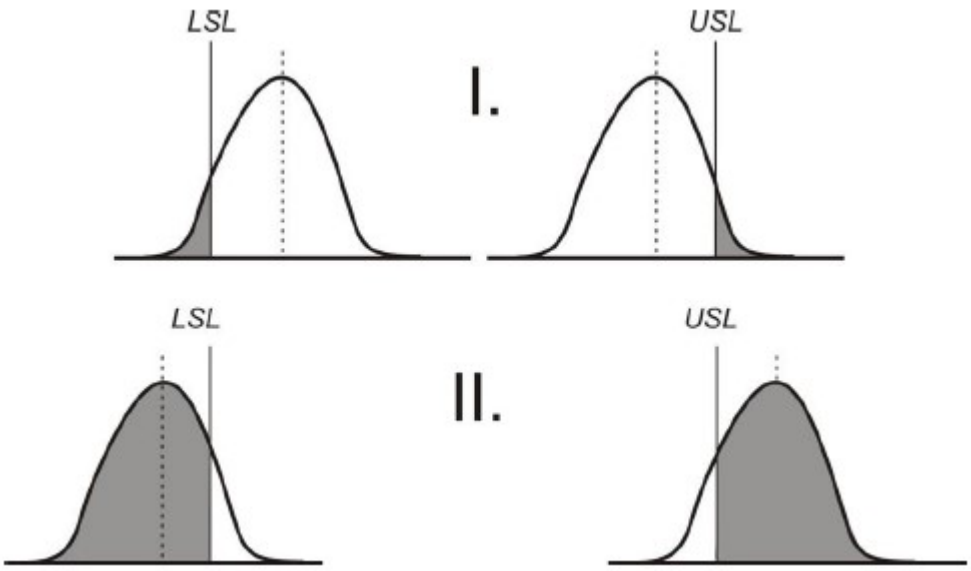
Diagram příčin a následků zobrazuje zdroje variability systému měření.




Obrázek 12 Diagram příčin a následků variability systému měření [1]

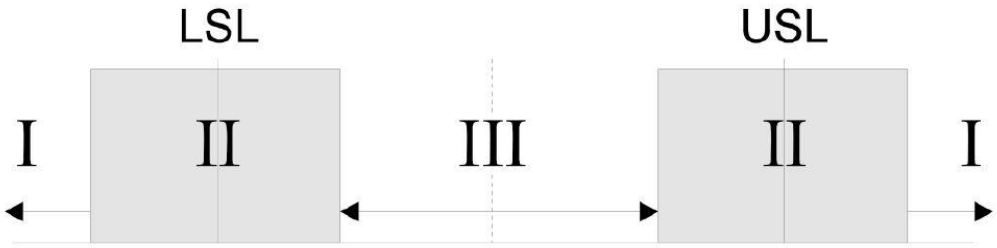
### 1.6.1 Vlivy na výsledky výrobku

V probíhajícím měření ve statisticky zvládnutém stavu je nulová strannost a celá variabilita při opakovaném měření u jednoho konkrétního dílu je způsobena pouze opakovatelností a reprodukovatelností měřidla. Proto v takovém případě můžeme špatně rozhodnout, jestliže určitá část rozdělení výše uvedených přesáhne mezní hodnotu. Například se „dobrý“ díl označí jako „špatný“ (tzv. chyba I. druhu neboli riziko výrobce). Naopak „špatný“ díl se někdy označí jako „dobrý“ (tzv. chyba II. druhu neboli riziko odběratele – oba případy viz obrázek 13). [1]




Obrázek 13 Rozhodnutí o přijetí a nepřijetí produktu

Kvůli mezním hodnotám daných specifikací, tzn., že možnosti učinit chybné rozhodnutí o dílu existuje pouze tehdy, pokud chyba systému měření protíná mezní hodnoty dané specifikací (LSL a USL), získáváme tři oblasti pro rozhodování (viz obrázek 14).




Obrázek 14 Rozložení pásem pro přijetí nebo nepřijetí produktu

kde:

I - špatné díly jsou vždy označeny jako špatné;

II - může být učiněno případné chybné rozhodnutí;

III - dobré díly jsou označeny jako dobré.

Protože cílem je maximalizovat správná rozhodnutí týkající se stavu produktu, nabízejí se dvě možnosti řešení:

– zlepšit výrobní proces: snížit variabilitu procesu tak, aby žádný díl nebyl vyráběn v oblastech II,

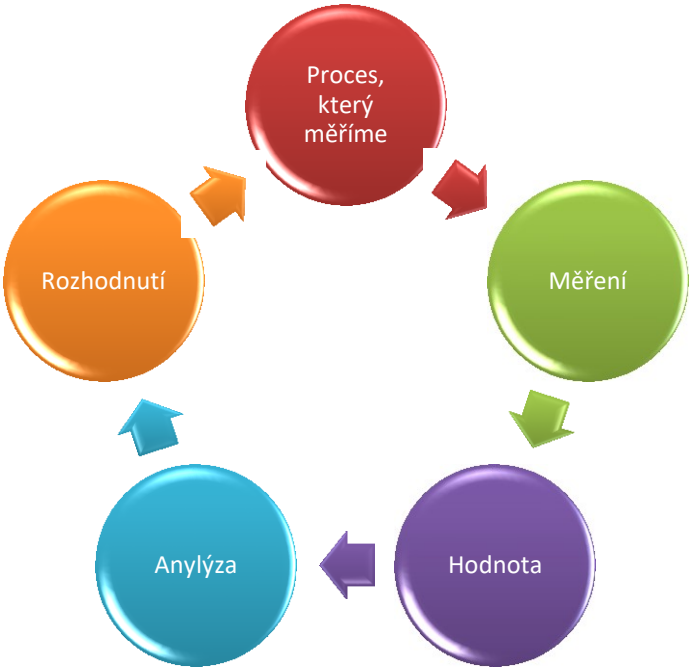
– zlepšit systém měření: snížit chybu systému měření tak, aby se snížila velikost oblastí II, takže všechny vyráběné díly budou svojí hodnotou ležet v oblasti III (případně I). [1]

### 1.6.2 Proces měření

Pro efektivní řízení procesu měření je nutné znát:

- jak má proces fungovat;
- jakými vlivy může být proces ovlivněný;
- jak samotný proces pracuje.

Informace ohledně samotného procesu fungování se dají získat vyhodnocením daných parametrů anebo z výsledků procesů. Tato část se nazývá kontrola, jedná se o vyhodnocení procesu – mezioperační kontrola, finální kontrola, kde se použijí vhodné etalony, měřící postupy a na základě výsledků se potvrdí, že proces pracuje, je stabilní s přijatelnou variabilitou a vše je v souladu s požadavky zákazníka.[1] [15]




Obrázek 15 Proces měření

#### 1.6.2.1 GRR metoda

Metoda GRR anebo R&R patří k jedné ze tří základních metod. Tato metoda je založena na průměru a rozpětí. Nevýhoda všech metod závisí na tom, že ve svých analýzách neakceptují variabilitu vně dílu (jako jsou např. změny rozměrů, rovinnost atd.). Celý systém měření obsahuje měřidlo (strannost, opakovatelnost atd.) a variabilitu měřeného produktu. Metoda založena na průměru a rozpětí nám poskytuje odhad opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřícího systému.

**A vypočítat lze:**

**Výběrový aritmetický průměr**

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{n=1}^{n} x_i \tag{24}$$

kde:

$n - počet\ měření\ za\ podmínek\ opakovatelnosti$

$x_i - výsledek\ i - tého\ měření$

**Výběrové rozpětí**

$$R = x_{max} - x_{min} \tag{25}$$

kde:

$x_{max} - největší\ naměřená\ hodnota$

$x_{min} - nejmenší\ naměřená\ hodnota$

**Průměrné rozpětí**

$$\bar{R} = \frac{1}{n}\sum_{n=1}^{n} R_i \tag{26}$$

kde:

$n - počet\ rozpětí\ vypočtených\ z\ naměřených\ hodnot$

$R_i - výsledné\ rozpětí\ i - tého\ měření$

**Horní regulační mez**

$$UCL_R = \bar{\bar{R}} \times D_4 \tag{27}$$

$$\bar{\bar{R}} = (\bar{R}_a + \bar{R}_b + \bar{R}_c) \div počet\ operátorů \tag{28}$$

kde:

$\bar{\bar{R}} - průměr\ všech\ rozpětí$

$\bar{R}_i - průměr\ rozpětí\ i - tého\ operátora$

$D_4 - hodnota, která\ je\ rovna\ počtu\ měření$

**Dolní regulační mez**

$$LCL_R = \bar{\bar{R}} \times D_3 \tag{29}$$

kde:

$\bar{\bar{R}} - průměr\ všech\ rozpětí\ (vzorec\ je\ stejný -\ horní\ regulační\ mez)$

$D_3 - hodnota\ se\ v\ případě\ menším\ než\ 7\ měření\ rovná\ nule$

**Opakovatelnost – variabilita zařízení**

$$EV = \sigma_e = \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2^*} \tag{30}$$

kde:

$\bar{\bar{R}} - průměrné\ variační\ rozpětí\ opakovaných\ měření\ pro\ všechny\ operátory$

$\sigma_e - směrodatná\ odchylka\ opakovatelnosti$

$d_2^* - koeficient\ závislý\ na\ počtu\ opakování\ a\ součinu\ počtu\ měřených$
$součástí\ a\ počtu\ operátorů\ v\ našem\ případě\ m = 3\ a\ g = 30$

**Reprodukovatelnost – proměnlivost operátora**

$$AV = \sqrt{(\sigma_0)^2 - \frac{(EV)^2}{n \cdot r}} = \sqrt{\left(\frac{R_0}{d_2^*}\right)^2 - \frac{(EV)^2}{n \cdot r}} \tag{31}$$

kde:

$R_0 - variační\ rozpětí\ průměrů\ měření\ všech\ kusů\ jednotlivými\ operátory$

$\sigma_0 - směrosatná\ odchylka\ reprodukovatelnosti$

$EV - opakovatelnost - variabilita\ zařízení$

$n - počet\ měřených\ dílů$

$r - počet\ měření$

$d_2^* - koeficient\ závislý\ na\ počtu\ operátorů\ v\ našem\ případě\ m = 3$
$a\ g = 1, pak\ d_2^* = 1{,}91155$

**Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)**

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} \tag{32}$$

kde:

$EV - opakovatelnost - variabilita\ zařízení$

$AV - reprodukovatelnost - proměnlivost\ operátora$

**Variabilita dílu**

$$PV = \sigma_p = \frac{R_p}{d_2^*} \tag{33}$$

kde:

$R_p - rozdíl\ největšího\ a\ nejmenšího\ průměru\ dílů$

$\sigma_p - směrodatná\ odchylka\ hodnot\ znaků\ u\ měřených\ kusů$

$d_2^* - koeficient\ závislý\ na\ počtu\ měřených\ kusů\ v\ našem\ případě\ m = 10$

$a\ g = 1, pak\ d_2^* = 3{,}17905$

**Celková variabilita**

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} \tag{34}$$

kde:

$GRR - opakovatelnost\ a\ reprodukovatelnost$

$PV - variabilita\ dílu$

**Počet tříd**

$$ndc = 1{,}41 \cdot \left(\frac{PV}{GRR}\right) \tag{35}$$

kde:

$PV - variabilita\ dílů$

$GRR - opakovatelnost\ a\ reprodukovatelnost$

**Vyhodnocení přijatelnosti systému měření**

Pro posouzení vhodnosti systému měření je nejdůležitější procentuální vyjádření podílu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti z celkové variability (%GRR) a počet různých kategorií, které lze systémem měření rozlišit.

Tabulka 3 Vyhodnocení přijatelnosti systému měření

| | |
|---|---|
| (%GRR < 10) ∩ (ndc ≥ 5) | Systém měření je přijatelný. |
| (%GRR > 10) ∩ (%GRR ≤ 30) ∩ (ndc ≥ 5) | Systém měření může být přijatelný (podle důležitosti aplikace, nákladů na měřidlo, nákladů na opravy, atd.). |
| (%GRR > 30) ∪ (ndc < 5) | Systém měření je nepřijatelný, je nutné ho zlepšit. |

#### 1.6.2.2 Metoda hodnocení pomocí indexu způsobilosti $c_g$ a $c_{gk}$

Tento postup je vhodný k vyhodnocení způsobilosti měřidel. Hodnocením pomocí indexu způsobilosti $c_g$ a $c_{gk}$ lze posoudit měřidlo z pohledu strannosti a shodnosti měření za stanovených podmínek opakovatelnosti. Metoda hodnocení pomocí indexu způsobilosti záleží v opakovaném měření hodnoty etalonu, posouzení rozptylu a porovnání zjištěného rozptylu s částí tolerančního pole. Index $C_g$ popisuje schopnost měřidla a jeho variabilitu. Index $C_{gk}$ popisuje reálnou schopnost měřícího zařízení. Před samotným použitím měřícího zařízení je nutné provést hodnocení způsobilosti měřidla.

Měření požadovaných údajů a vyhodnocení způsobilosti měřidla se provádí jedním operátorem, jedním měřidlem a pouze jen v místě jeho používání. Provádí se minimálně 25 opakovatelných měření (v ideálním případě 50 měření), naměřené údaje se postupně zobrazí v průběhovém diagramu. Vyhodnocením průběhového diagramu lze zjistit, jestli bylo měření ovlivněno náhodnými příčinami variability. Jestliže byl proces ovlivněný, je nutné nalézt a odstranit nežádoucí příčiny a celé měření znovu opakovat. [2]

**A vypočítat můžeme:**

**Index způsobilosti $c_g$**

$$c_g = \frac{0{,}2 \cdot T}{6 \cdot s_g} \tag{36}$$

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x}_g)^2} \tag{37}$$

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n}\sum_{n=1}^{n} x_i \tag{38}$$

kde:

$s_g - výběrová\ směrodatná\ odchylka\ výsledku\ měření\ kontrolního\ etalonu$

$n - počet\ měření\ za\ podmínek\ opakovatelnosti$

$x_i - výsledek\ i - tého\ měření$

$\bar{x}_g - výběrový\ průměr\ výsledků\ měření\ kontrolního\ etalonu$

**T- tolerance měřeného rozměru**

$$T = HMR - DMR \tag{39}$$

kde:

$HMR - horní\ mezní\ rozměr$

$DMR - dolní\ mezní\ rozměr$

**Kritický index způsobilosti $c_{gk}$**

$$c_{gk} = \frac{0{,}1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \cdot s_g} \tag{40}$$

kde:

$T - tolerance\ měřeného\ rozměru$

$\bar{x}_g - výběrový\ průměr\ výsledku\ měření\ kontrolního\ etalonu$

$x_m - nominální\ hodnota\ etalonu, střed\ tolerance$

$s_g - výběrová\ směrodatná\ odchylka\ výsledku\ měření\ kontrolního\ systému$

Indexy $c_g$ a $c_{gk}$ určují, jestli leží výsledek měření etalonu (kontrolního) v pravděpodobnosti 99,73% ve zvoleném pásmu tolerance měřidla. Šířka tolerance měřidla je stanovena na 20% šířky tolerance měřeného rozměru.

Hodnoty těchto indexů určují způsobilost měřidla pro konkrétní účel. V tabulce 4 jsou určené mezní hodnoty pro schválení anebo zamítnutí měřidla na základě velikosti tolerance měřeného rozměru. [1] [6]

Tabulka 4 Určení mezní hodnoty

| Tolerance | Mezní hodnoty |
|---|---|
| **T ≤ 50 µ** | $C_g$, $C_{gk} \geq 1$ |
| **T > 50** | $C_g$, $C_{gk} \geq 1{,}33$ |

### 1.6.3 Vyhodnocení výsledků

Vyhodnocení výsledků se provádí grafickými metodami nebo číselnými metodami anebo použitím obou metod.

Vyhodnocení grafickou metodou:

- diagram pro průměr;
- diagramy pro rozpětí;
- diagram pro iterace;
- bodový diagram;
- diagram s „vousy“;
- diagramy chyb Histogram normovaných hodnot.

Vyhodnocení číselnou metodou:

- opakovatelnost - variabilita zařízení EV;
- reprodukovatelnost - variabilita operátora AV / σ A;
- variabilita systému měření - Opakovatelnost / Reprodukovatelnost / σ M;
- variabilita mezi díly PV / σ P;
- celková variabilita TV / σ T;
- stanovení počtu kategorií - citlivost systému měření.

# 2 Analýza současného stavu provádění a vyhodnocování analýz systému měření ve společnosti, definování slabých míst.

## 2.1 Provedení studie

Pro výpočet opakovatelnosti a reprodukovatelnosti byly použity tři metody:

- metoda založená na rozpětí;
- metoda založená na průměru a rozpětí;
- metoda ANOVA.

K ustanovení hodnot měření se vymezil počet operátorů, počet měřených dílů a počet opakování měření.
Pro tento případ byli určeni:

- tři operátoři;
- 10 měřených dílů;
- počet opakování měření jednoho dílu – 3x.

K provedení výpočtu byl použit:

- software – MS Excel;
- software – Minitab.

### 2.1.1 Provedení studie – sběr dat

- Bylo vybráno počet dílů n ≥ 10. Rozměry vybraných dílů představují toleranční rozpětí variability procesu. Variabilitu výběru ovlivnil rozsah počtu dílů, čím více bude dílů, tím menší výsledná variabilita.
- Vybrané díly byly označeny, operátoři při měření nesměli vědět, který díl se právě měří. Vybraní operátoři byli označeni písmeny A, B, C.
- Ověření způsobilosti měřidla.
- Operátoři postupně změřili všechny vzorky v náhodném pořadí, výsledky měření se zapsaly do připraveného formuláře.
- Operátoři museli mít stejné podmínky pro měření, stejné měřidlo, místo a čas.
- Každý operátor provedl měření 3krát.

### 2.1.2 Provedení studie – výběr operátorů, dílů a místo kontroly

K měření byl vybrán vzorek a jako kontrolní bod měření byl stanoven vnější rozměr. Vybraní operátoři, kteří se zúčastnili měření:

- operátor A - Vilém M.;
- operátor B - Stanislav R.;
- operátor C - David U.

## 2.2 Realizace metody založené na rozpětí a průměru

Výpočty byly provedeny v programu MS Excel. V samotném počátku analýzy měření bylo provedeno měření určených deseti dílů třemi operátory, měření bylo provedeno třikrát a výsledky měření byly zapsány do připraveného formuláře.

Tabulka 5 Naměřené hodnoty pro analýzu systému měření

| Operátor (i) | Měření (k) | Číslo měřeného kusu (j) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| A | 1 | 33,707 | 33,671 | 33,676 | 33,732 | 33,788 | 33,547 | 33,485 | 33,896 | 33,698 | 33,988 |
| | 2 | 33,695 | 33,571 | 33,583 | 33,487 | 33,451 | 33,526 | 33,478 | 33,963 | 33,569 | 33,877 |
| | 3 | 33,402 | 33,798 | 33,729 | 33,322 | 33,487 | 33,256 | 33,554 | 33,987 | 33,988 | 33,699 |
| B | 1 | 33,677 | 33,658 | 33,969 | 33,988 | 33,869 | 33,788 | 33,458 | 33,695 | 33,897 | 33,598 |
| | 2 | 33,722 | 33,569 | 33,998 | 33,963 | 33,566 | 33,259 | 33,569 | 33,647 | 33,69 | 33,963 |
| | 3 | 33,698 | 33,558 | 33,966 | 33,887 | 33,852 | 33,369 | 33,699 | 33,698 | 33,589 | 33,598 |
| C | 1 | 33,458 | 33,526 | 33,698 | 33,659 | 33,596 | 33,963 | 33,869 | 33,963 | 33,569 | 33,963 |
| | 2 | 33,487 | 33,598 | 33,587 | 33,698 | 33,698 | 33,569 | 33,569 | 33,963 | 33,571 | 33,869 |
| | 3 | 33,569 | 33,974 | 33,598 | 33,565 | 33,458 | 33,458 | 33,647 | 33,897 | 33,487 | 33,647 |

Rozpětí $R_{ik}$ jednotlivých naměřených hodnot lze vypočítat z tabulky 5.

Výpočet pro první díl, který byl naměřen operátorem A:

$$R_{1A} = \left|max\left(x_{1jA}\right) - min\left(x_{1jA}\right)\right| = |33{,}707 - 33{,}402| = 0{,}305$$

Výsledky všech $R_{ik}$ jsou uvedeny v tabulce 6.

Průměrné rozpětí $\bar{R}_k$ se vypočítá z jednotlivých rozpětí pro každého operátora. Pro operátora A se $\bar{R}_A$ vypočte podle vzoru.

$$\bar{R}_A = \frac{1}{g}\sum_{i=1}^{g} R_{iA} = \frac{0{,}305 + 0{,}227 + \ldots + 0{,}289}{10} = 0{,}2591\ mm$$

Výsledky dalších hodnot $\bar{R}_B, \bar{R}_C$ jsou také uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6 Naměřené vyhodnocované údaje pro analýzu GRR

| Operátor (i) | Měření (k) | Číslo měřeného kusu (j) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| A | 1 | 33,707 | 33,671 | 33,676 | 33,732 | 33,788 | 33,547 | 33,485 | 33,896 | 33,698 | 33,988 | $\bar{x}_{A.1}$ | 33,7188 |
| | 2 | 33,695 | 33,571 | 33,583 | 33,487 | 33,451 | 33,526 | 33,478 | 33,963 | 33,569 | 33,877 | $\bar{x}_{A.2}$ | 33,62 |
| | 3 | 33,402 | 33,798 | 33,729 | 33,322 | 33,487 | 33,256 | 33,554 | 33,987 | 33,988 | 33,699 | $\bar{x}_{A.3}$ | 33,6222 |
| | $\bar{x}_{ij}$ | 33,60133 | 33,68 | 33,66267 | 33,51367 | 33,57533 | 33,443 | 33,50567 | 33,94867 | 33,75167 | 33,85467 | $\bar{x}_1$ | 33,65367 |
| | $\bar{R}_{ij}$ | 0,305 | 0,227 | 0,146 | 0,41 | 0,337 | 0,291 | 0,076 | 0,091 | 0,419 | 0,289 | $\bar{R}_1$ | 0,2591 |
| B | 1 | 33,677 | 33,658 | 33,969 | 33,988 | 33,869 | 33,788 | 33,458 | 33,695 | 33,897 | 33,598 | $\bar{x}_{B.1}$ | 33,7597 |
| | 2 | 33,722 | 33,569 | 33,998 | 33,963 | 33,566 | 33,259 | 33,569 | 33,647 | 33,69 | 33,963 | $\bar{x}_{B.2}$ | 33,6946 |
| | 3 | 33,698 | 33,558 | 33,966 | 33,887 | 33,852 | 33,369 | 33,699 | 33,698 | 33,589 | 33,598 | $\bar{x}_{B.3}$ | 33,6914 |
| | $\bar{x}_{ij}$ | 33,699 | 33,595 | 33,97767 | 33,946 | 33,76233 | 33,472 | 33,57533 | 33,68 | 33,72533 | 33,71967 | $\bar{x}_2$ | 33,71523 |
| | $\bar{R}_{ij}$ | 0,045 | 0,1 | 0,032 | 0,101 | 0,303 | 0,529 | 0,241 | 0,051 | 0,308 | 0,365 | $\bar{R}_2$ | 0,2075 |
| C | 1 | 33,458 | 33,526 | 33,698 | 33,659 | 33,596 | 33,963 | 33,869 | 33,963 | 33,569 | 33,963 | $\bar{x}_{C.1}$ | 33,7264 |
| | 2 | 33,487 | 33,598 | 33,587 | 33,698 | 33,698 | 33,569 | 33,569 | 33,963 | 33,571 | 33,869 | $\bar{x}_{C.2}$ | 33,6609 |
| | 3 | 33,569 | 33,974 | 33,598 | 33,565 | 33,458 | 33,458 | 33,647 | 33,897 | 33,487 | 33,647 | $\bar{x}_{C.3}$ | 33,63 |
| | $\bar{x}_{ij}$ | 33,50467 | 33,69933 | 33,62767 | 33,64067 | 33,584 | 33,66333 | 33,695 | 33,941 | 33,54233 | 33,82633 | $\bar{x}_3$ | 33,67243 |
| | $\bar{R}_{ij}$ | 0,111 | 0,448 | 0,111 | 0,133 | 0,24 | 0,505 | 0,3 | 0,066 | 0,084 | 0,316 | $\bar{R}_3$ | 0,2314 |
| | $\bar{x}_j$ | 33,60167 | 33,65811 | 33,756 | 33,70011 | 33,64056 | 33,52611 | 33,592 | 33,85656 | 33,67311 | 33,80022 | | |

Celkové průměrné rozpětí $\bar{\bar{R}}$ je rovno součtu všech průměrných rozpětí každého operátora a výsledek se vydělí třemi.

$$\bar{\bar{R}} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \bar{R}_k = \frac{\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C}{3} = \frac{0{,}2591 + 0{,}2075 + 0{,}2314}{3} = 0{,}2327\ mm$$

Tato výsledná hodnota se použije pro sestrojení regulačního grafu a je rovna CL.

Horní regulační mez $UCL_R$ se vypočítá ze vzorce:

$$UCL_R = D_4 \cdot \bar{\bar{R}} = 2{,}574 \cdot 0{,}2327 = 0{,}598969 \doteq 0{,}599\ mm$$

Spodní regulační mez $LCL_R$ se zjistí ze vzorce:

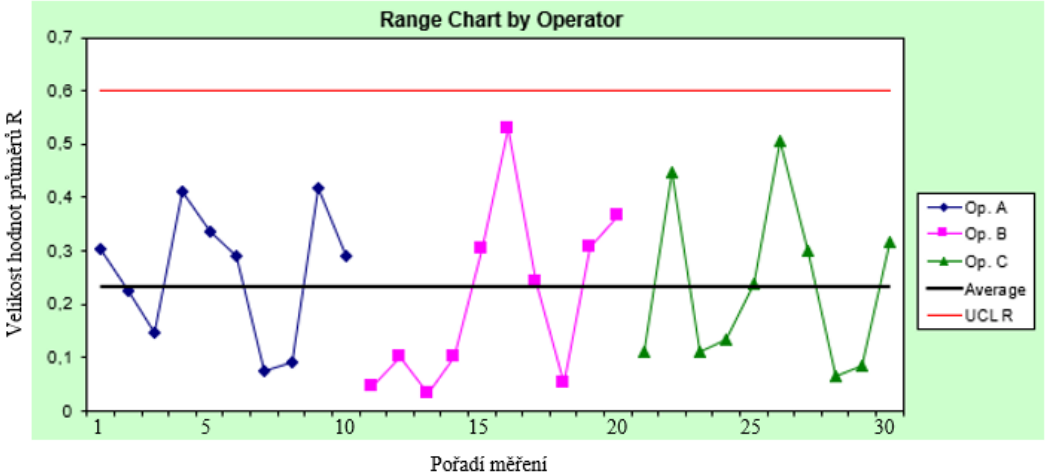
$$LCL_R = D_3 \cdot \bar{\bar{R}} = 0 \cdot 0{,}2327 = 0$$

kde:

$D_4$ – je hodnota, která je závislá na počtu opakování a je tabelována.

$D_3$ – je hodnota, která je závislá na počtu opakování a je tabelována.

Hodnoty pro $D_3$ a $D_4$ se nacházejí v normě ČSN ISO 8258.




Obrázek 16 Jednotlivé rozpětí operátorů vůči tolerančním mezím

Z grafu na obrázku 16 je patrné, že proces je ve statisticky zvládnutém stavu a naměřené hodnoty se pohybují v regulačních mezích daných přímkou UCL a LCL. Stejně lze vyřešit výpočty pro aritmetický průměr. Vypočteme aritmetický průměr $\bar{x}_{ik}$ pro každou měřenou součástku.

Postup výpočtu pro první součástku od operátora A.

$$\bar{x}_{1A} = \frac{1}{j}\sum_{j=1}^{m} x_{1jA} = \frac{33{,}707 + 33{,}695 + 33{,}402}{3} = 33{,}60133\ mm$$

Postup výpočtu aritmetických průměrů pro jednotlivé operátory $\bar{x}_k$. Podle vzorce se vypočítá aritmetický průměr pro operátora A.

$$\bar{x}_A = \frac{1}{g}\sum_{i=1}^{g} x_{1A} = \frac{33{,}60133 + 33{,}68 + \ldots + 33{,}85467}{10} = 33{,}65366\ mm$$

Následuje výpočet aritmetického průměru $\bar{x}_i$ pro každou součástku.

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{k=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} x_{1jA} = \frac{(33{,}707 + \ldots + 33{,}569)}{3 \cdot 3} = 33{,}60167\ mm$$

Dalším postupem bude určení hodnoty celkového aritmetického průměru $\bar{\bar{x}}$.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} \bar{x}_k = \frac{33{,}60167 + 33{,}65811 + \ldots + 33{,}80022}{10} = 33{,}68044\ mm$$

Tato výsledná hodnota se použije pro sestrojení regulačního grafu a je rovna CL.

Horní regulační mez $UCL_x$ se vypočítá ze vzorce:

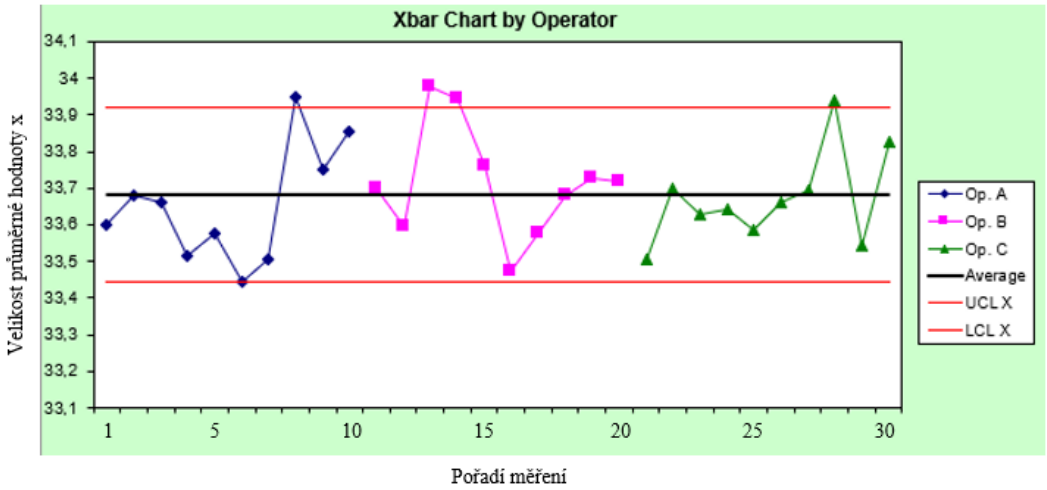
$$UCL_x = \bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{\bar{R}} = 33{,}6804 + 1{,}023 \cdot 0{,}2327 = 33{,}91845\ mm$$

Spodní regulační mez $LCL_x$ se vypočítá ze vzorce:

$$LCL_x = \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{\bar{R}} = 33{,}6804 - 1{,}023 \cdot 0{,}2327 = 33{,}44234\ mm$$

kde:

$A_2$ – koeficient závislý na počtu opakovaných měření a je tabelována.




Obrázek 17 Jednotlivé hodnoty průměrů $\bar{x}$ operátorů k tolerančním mezím

Graf na obrázku 17 ukazuje, že se u každého operátora vyskytuje minimálně jedna hodnota, která je mimo toleranční meze pro průměry. Z toho vyplývá, že systém měření pro zjištění variability mezi díly není úplně vhodný. Z grafu lze také vyčíst vyhodnocení rozdílných průměrů u všech tří operátorů.

Výpočet rozpětí mezi jednotlivými operátory $R_0$

$R_0 = max(\bar{x}_i) - min(\bar{x}_i) = 33{,}71523 - 33{,}65367 = 0{,}0615\ mm$

kde:

$max(\bar{x}_i)$ – maximální hodnota z aritmetických průměrů měření všech kusů jednotlivými operátory.

$min(\bar{x}_i)$ – minimální hodnota z aritmetických průměrů měření všech kusů jednotlivými operátory.

Výpočet rozpětí mezi jednotlivými kusy $R_p$

$R_p = max(\bar{x}_i) - min(\bar{x}_i) = 33{,}85656 - 33{,}52611 = 0{,}3304\ mm$

kde:

$max(\bar{x}_i)$ – maximální hodnota z aritmetických průměrů všech měření jednotlivých kusů.

$min(\bar{x}_i)$ – minimální hodnota z aritmetických průměrů všech měření jednotlivých kusů.

## 2.3 Výpočet hodnot pro EV, AV, GRR, PV, TV

Následují výpočty hodnot pro:

- opakovatelnost měření – EV;
- reprodukovatelnost měření – AV;
- opakovatelnost a Reprodukovatelnost měření – GRR;
- variabilitu mezi měřenými kusy – PV;
- celkovou variabilitu – TV.

**Stanovení opakovatelnosti měření (EV – Equipment Variation)**

$$EV = \sigma_e = \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2^*} = \frac{0{,}2327}{1{,}693} = 0{,}1374$$

kde:

$\sigma_e - směrodatná\ odchylka\ opakovatelnosti$

$d_2^* - koeficient\ závislý\ na\ počtu\ opakování\ a\ součinu\ počtu\ měřených$
$součástí\ a\ počtu\ operátorů\ v\ našem\ případě\ m = 3\ a\ g = 30$

**Stanovení reprodukovatelnosti měření (AV – Appraiser Variation)**

$$AV = \sqrt{(\sigma_0)^2 - \frac{(EV)^2}{n \cdot r}} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{R_0}{d_2^*}\right)^2 - \frac{(EV)^2}{n \cdot r}} = \sqrt{\left(\frac{0{,}0615}{1{,}91155}\right)^2 - \frac{(0{,}1374)^2}{10 \cdot 3}} = 0{,}02014$$

kde:

$R_0 - variační\ rozpětí\ průměrů\ měření\ všech\ kusů\ jednotlivými\ operátory$

$\sigma_0 - směrodatná\ odchylka\ reprodukovatelnosti$

$n - počet\ měřených\ dílů$

$r - počet\ měření$

$d_2^* - koeficient\ závislý\ na\ počtu\ operátorů\ v\ našem\ případě\ m = 3$
$a\ g = 1, pak\ d_2^* = 1{,}91155$

**Stanovení reprodukovatelnosti a opakovatelnosti měření (GRR – Gage Repeatability & Reproducibility)**

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} = \sqrt{(0{,}1374)^2 + (0{,}02014)^2} = 0{,}13883$$

**Stanovení variability mezi měřenými kusy (PV – Parts Variation)**

$$PV = \sigma_p = \frac{R_p}{d_2^*} = \frac{0{,}33045}{3{,}17905} = 0{,}10394$$

kde:

$d_2^* - koeficient\ závislý\ na\ počtu\ měřených\ kusů\ v\ našem\ případě\ m = 10$

$a\ g = 1, pak\ d_2^* = 3{,}17905$

$\sigma_p - směrodatná\ odchylka\ hodnot\ znaku\ u\ měřených\ kusů$

$R_p - variační\ roztpětí\ aritmetických\ průměrů\ všech\ měření$

$jednotlivých\ kusů.$

**Stanovení celkové variability (TV – Total Variation)**

$$TV = \sqrt{(GRR)^2 + (PV)^2} = \sqrt{(0{,}13883)^2 + (0{,}10394)^2} = 0{,}1734$$

## 2.4 Vyjádření opakovatelnosti a reprodukovatelnosti variability mezi kusy v procentech z celkové variability

**Vyjádření opakovatelnosti v %**

$$\%EV = \frac{EV}{TV} \cdot 100 = \frac{0{,}1374}{0{,}1734} \cdot 100 = 79{,}23\%$$

**Vyjádření reprodukovatelnosti v %**

$$\%AV = \frac{AV}{TV} \cdot 100 = \frac{0{,}02014}{0{,}1734} \cdot 100 = 11{,}61\%$$

**Vyjádření opakovatelnosti a reprodukovatelnosti v %**

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100 = \frac{0{,}13883}{0{,}1734} \cdot 100 = 80{,}06\%$$

**Vyjádření variability mezi kusy v %**

$$\%PV = \frac{PV}{TV} \cdot 100 = \frac{0{,}10394}{0{,}1734} \cdot 100 = 59{,}94\%$$

### 2.4.1 Vyhodnocení podílu rozptylu vyvolaného opakovatelností a reprodukovatelností

$$P_{EV} = \frac{(EV)^2}{(GRR)^2} \cdot 100 = \frac{(0{,}1374)^2}{(0{,}13883)^2} \cdot 100 = 97{,}9\%$$

$$P_{AV} = \frac{(AV)^2}{(GRR)^2} \cdot 100 = \frac{(0{,}02014)^2}{(0{,}13883)^2} \cdot 100 = 2{,}1\%$$

### 2.4.2 Stanovení počtu rozlišitelných skupin (ndc – Number of Distinct Categories)

$$ndc = 1{,}41 \cdot \frac{PV}{GRR} = 1{,}41 \cdot \frac{0{,}10394}{0{,}13883} = 1{,}055 \Rightarrow 1$$

Vypočtená hodnota se zaokrouhluje na celá čísla směrem dolů.

## 2.5 Vyhodnocení pomocí programu „Minitab“ Gage R&R

| Source | VarComp | %Contribution (of VarComp) |
|---|---|---|
| Total Gage R&R | 0,0325688 | 89,20 |
| Repeatability | 0,0210166 | 57,56 |
| Reproducibility | 0,0115522 | 31,64 |
| Operátor | 0,0000000 | 0,00 |
| Operátor*Měř.1-10 | 0,0115522 | 31,64 |
| Part-To-Part | 0,0039413 | 10,80 |
| Total Variation | 0,0365101 | 100,00 |

Zeleně jsou vyznačeny procentuální hodnoty jednotlivých složek variability v tomto pořadí:

- celková variabilita systému měření;
- hodnota opakovatelnosti;
- hodnota reprodukovatelnosti;
- vlastní podíl operátora;
- podíl interakce operátor vs. vzorek;
- variabilita mezi vzorky.

| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 * SD) | %Study Var (%SV) |
|---|---|---|---|
| Total Gage R&R | 0,180468 | 1,08281 | 94,45 |
| Repeatability | 0,144971 | 0,86983 | 75,87 |
| Reproducibility | 0,107481 | 0,64489 | 56,25 |
| Operátor | 0,000000 | 0,00000 | 0,00 |
| Operátor*Měř.1-10 | 0,107481 | 0,64489 | 56,25 |
| Part-To-Part | 0,062780 | 0,37668 | 32,86 |
| Total Variation | 0,191076 | 1,14646 | 100,00 |

**Number of Distinct Categories = 1**

Červenou barvou je vyznačená charakteristika R&R, která rozhoduje o přípustnosti systému měření vzhledem k procesu. Je to celkové procento chyby, které přináší systém měření. Vypočtená hodnota překračuje 30%, tudíž byl systém měření vyhodnocen jako nevyhovující. Nyní je nutné nalézt veškeré problémy, které vznikly a najít jejich řešení tak, aby byl systém vyhovující. Z vyjádřené procentuální hodnoty se zaměříme na měření opakovatelnosti a vlivy, které ovlivnily měření.

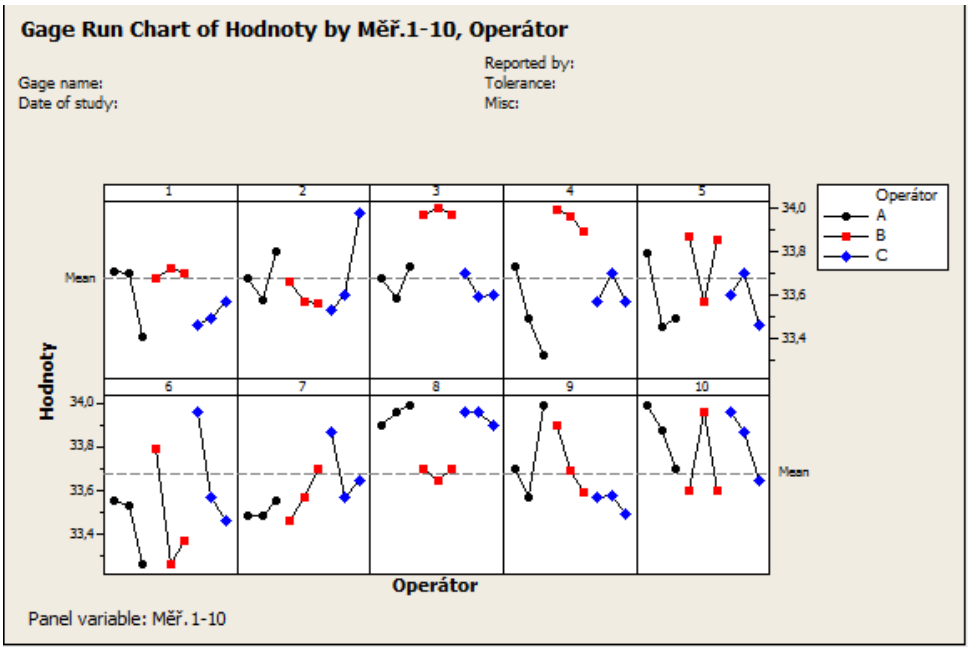
Modrou barvou je vyznačený počet rozdílných kategorií výrobků. Charakteristika, která byla zjištěna uvnitř měřícího procesu slouží jako ukazatel rozlišitelnosti. Jelikož vyšla hodnota 1, bude velmi složité pro systém odlišit jednotlivé vzorky.

Rozdělení:

- pro hodnotu 2 – systém data rozdělí do dvou skupin – low a high;
- pro hodnotu 3 – systém data rozdělí do tří skupin – low – medium – high;
- přijatelný a použitelný systém měření pro zlepšování procesu musí mít minimálně pět rozdílných kategorií.

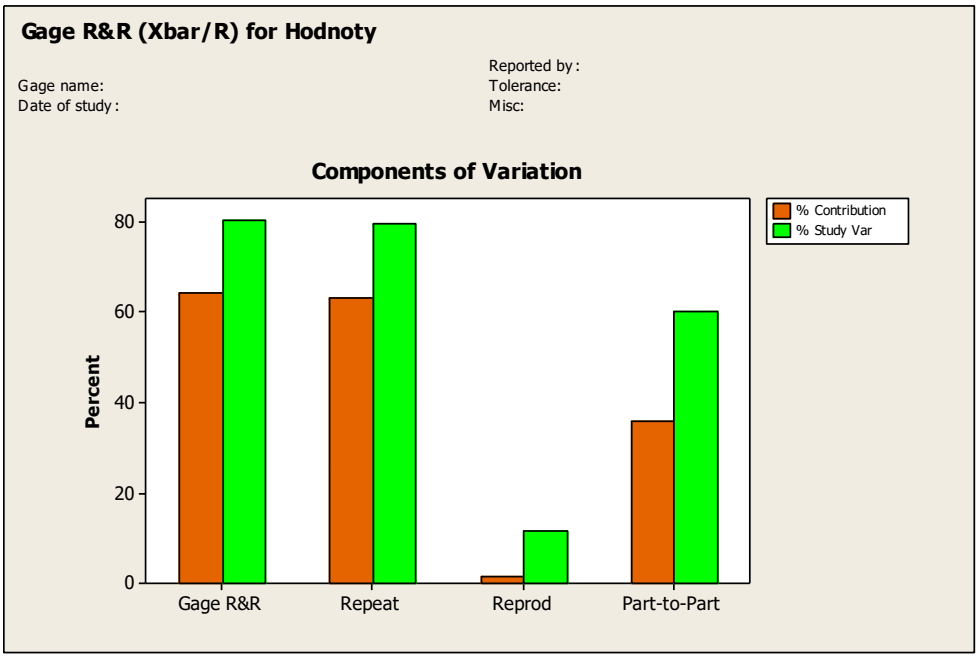
## 2.6 Vyhodnocení grafických výstupů

Průběhový diagram znázorňuje rozdíly mezi jednotlivými operátory a jejich naměřené hodnoty.



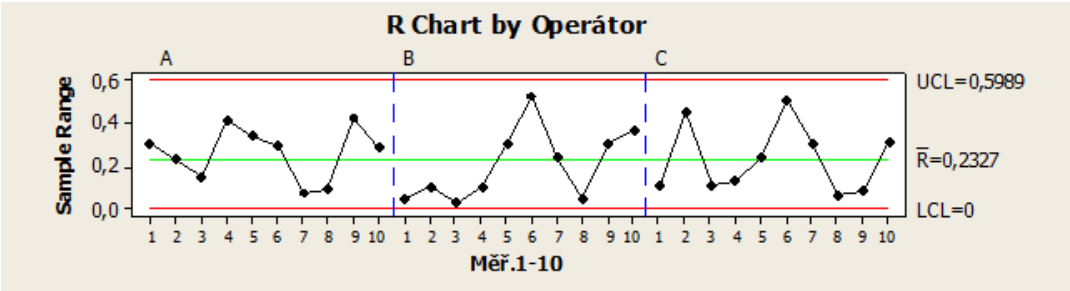

Obrázek 18 Průběhový diagram

Z grafu lze usoudit, že nejlepších hodnot měření dosáhl operátor B. Následuje operátor C a nejhorších hodnot měření dosáhl operátor A.



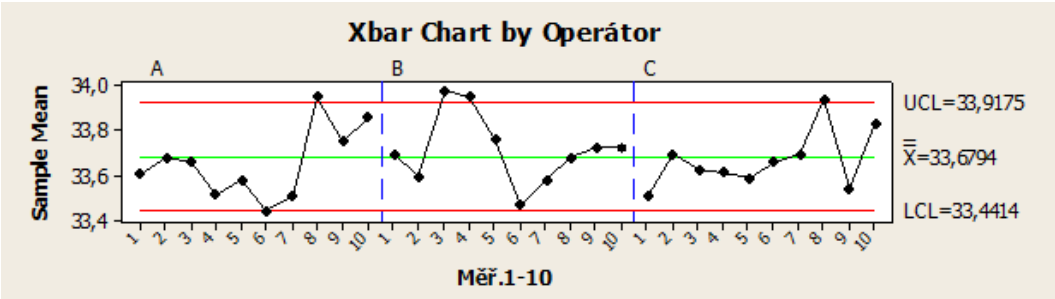

Obrázek 19 Diagram složek variability

Porovnáním sloupců Gage R&R proti sloupci Reprod lze vyčíst, že je nutné se zaměřit na snížení velikosti sloupců Repeat a Part-to-Part, které jsou hodnotami opakovatelnosti a variability mezi vzorky, které nejvíce ovlivňují systém měření.



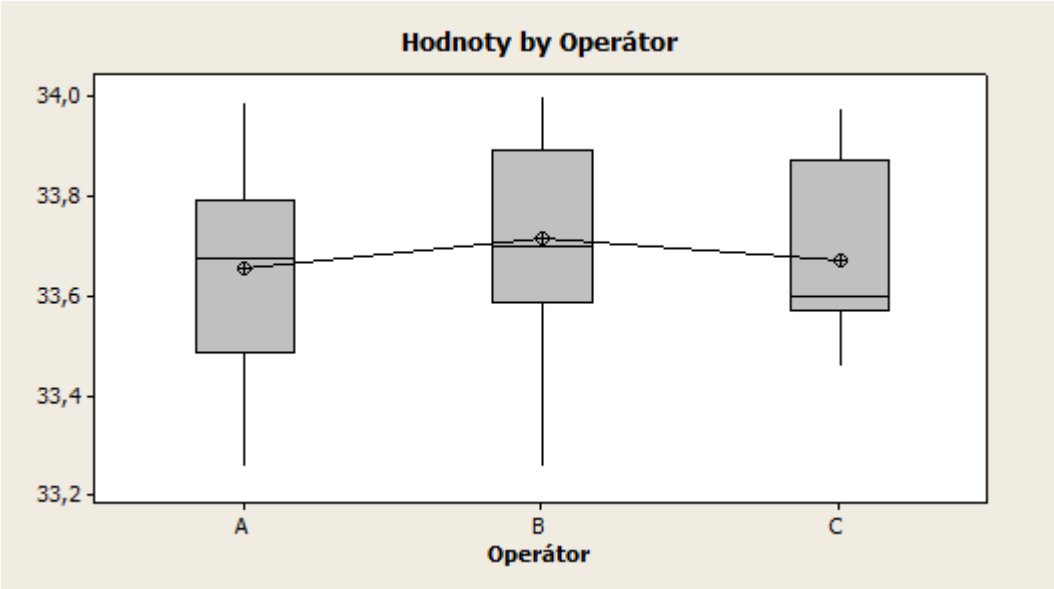

Obrázek 20 Diagram rozpětí

Z grafu na obrázku 20 vyplývá, že proces měření je zvládnutý. Žádná z naměřených hodnot neleží mimo regulační meze. Dále graf poukazuje na variabilitu měření jednotlivých operátorů.



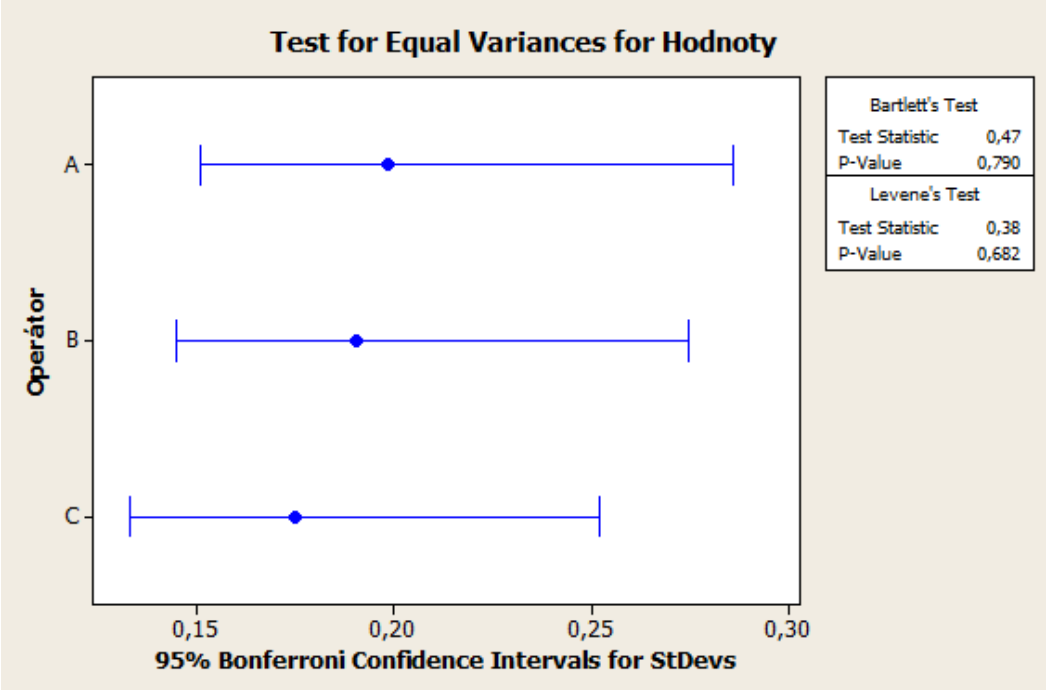

Obrázek 21 Diagram průměrů

Graf na obrázku 21 znázorňuje průměr všech měřených dílů jednotlivými operátory. Pomocí opakovatelnosti byly vypočteny regulační meze. Variabilita mezi vzorky musí být větší než opakovatelnost měřidla. Umožňuje systému měření odlišit od sebe jednotlivé vzorky. Jestliže není mezi vzorky dostatečná variabilita, jedná se o špatný výběr vzorků anebo o nedostatečně rozlišené měřící metody. V našem případě vyšla hodnota 1 a ta potvrdila předpoklad o nerozlišitelnosti jednotlivých kategorií.




Obrázek 22 Diagram středních hodnot operátorů

Obrázek 22 vyjadřuje rozdílné dosažení středních hodnot jednotlivými operátory. Měření operátora C je nejvíce mimo ideální přímku.




Obrázek 23 Test rovnosti rozptylů

**One-way ANOVA: Hodnoty versus Operátor**

```
Source     DF      SS      MS     F      P
Operátor    2  0,0614  0,0307  0,87  0,424
Error      87  3,0834  0,0354
Total      89  3,1448

S = 0,1883   R-Sq = 1,95%   R-Sq(adj) = 0,00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level   N    Mean  StDev  ---+---------+---------+---------+------
A      30  33,654  0,199  (-------------*------------)
B      30  33,715  0,191             (-------------*-------------)
C      30  33,669  0,175     (-------------*-------------)
                          ---+---------+---------+---------+------
                          33,600    33,650    33,700    33,750

Pooled StDev = 0,188
```

Jednofaktorová analýza ANOVA udává, zdali jsou naměřené hodnoty ovlivněny jednotlivými operátory. Hodnota P-value je větší než zvolená hladina významnosti α = 0,005, a proto lze usoudit, že dané hodnoty nejsou ovlivněny jednotlivými operátory na dané hladině významnosti.

**One-way ANOVA: Hodnoty versus Měř.1-10**

```
Source     DF      SS      MS     F      P
Měř.1-10    9  0,8203  0,0911  3,14  0,003
Error      80  2,3245  0,0291
Total      89  3,1448

S = 0,1705   R-Sq = 26,08%   R-Sq(adj) = 17,77%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev


 1      9  33,602  0,124        (------*-------)
 2      9  33,658  0,144           (-------*------)
 3      9  33,756  0,174                  (------*-------)
 4      9  33,690  0,227             (-------*-------)
 5      9  33,641  0,167          (-------*------)
 6      9  33,526  0,233   (------*-------)
 7      9  33,592  0,130       (------*-------)
 8      9  33,857  0,137                        (------*-------)
 9      9  33,673  0,167            (-------*------)
10      9  33,800  0,164                     (------*-------)
                          --+---------+---------+---------+-------
                          33,45     33,60     33,75     33,90

Pooled StDev = 0,170
```

Stejná analýza byla provedena i pro jednotlivé vzorky, aby se zjistilo, zda nemají vliv na naměřené hodnoty. Hodnota P-value vyšla menší než zvolená hladina významnosti $\alpha = 0{,}005$, a z toho vyplývá, že vzorky ovlivňují měření na dané hladině významnosti.

# 3 Realizace analýzy řešeného problému

Z výsledků šetření daného měření byla navržena některá z nápravných opatření, která byla ihned realizována:

- vymezení prostoru, kde bude probíhat pouze měření;
- viditelně rozlišit informativní a kalibrované měřidlo;
- proškolit operátory;
- provést opakovaná měření pro ověření způsobilosti systému měření s původními vybranými operátory a na původních měřených dílech.

## 3.1 Nápravná opatření

K vyhodnocení dočasného nápravného opatření je použit shodný postup jako na počátku studie – metody statistické a grafické.

### 3.1.1 Opakované měření a nové vyhodnocení

Původní operátoři byli požádáni o naměření dat o shodném počtu na stejných dílech za stejných podmínek jako u prvního měření. Hodnoty jednotlivých koeficientů a jejich význam zůstávají stejné s hodnotami a významem prvního vyhodnocení dat.

Tabulka 7 Nové naměřené hodnoty pro analýzu systému měření

| Operátor (i) | Měření (k) | Číslo měřeného kusu (j) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| A | 1 | 33,67 | 33,685 | 33,676 | 33,678 | 33,687 | 33,695 | 33,655 | 33,7 | 33,698 | 33,674 |
| | 2 | 33,675 | 33,684 | 33,674 | 33,673 | 33,684 | 33,693 | 33,655 | 33,7 | 33,697 | 33,676 |
| | 3 | 33,67 | 33,684 | 33,676 | 33,675 | 33,684 | 33,693 | 33,653 | 33,705 | 33,697 | 33,672 |
| B | 1 | 33,67 | 33,685 | 33,676 | 33,695 | 33,684 | 33,693 | 33,653 | 33,705 | 33,697 | 33,671 |
| | 2 | 33,673 | 33,684 | 33,674 | 33,694 | 33,685 | 33,694 | 33,652 | 33,705 | 33,694 | 33,673 |
| | 3 | 33,672 | 33,685 | 33,676 | 33,695 | 33,684 | 33,693 | 33,654 | 33,708 | 33,697 | 33,671 |
| C | 1 | 33,671 | 33,685 | 33,675 | 33,697 | 33,783 | 33,695 | 33,654 | 33,706 | 33,695 | 33,678 |
| | 2 | 33,672 | 33,683 | 33,673 | 33,694 | 33,684 | 33,694 | 33,653 | 33,704 | 33,698 | 33,677 |
| | 3 | 33,675 | 33,685 | 33,674 | 33,695 | 33,686 | 33,692 | 33,657 | 33,705 | 33,693 | 33,975 |

### 3.1.2 Vyhodnocení nápravných opatření

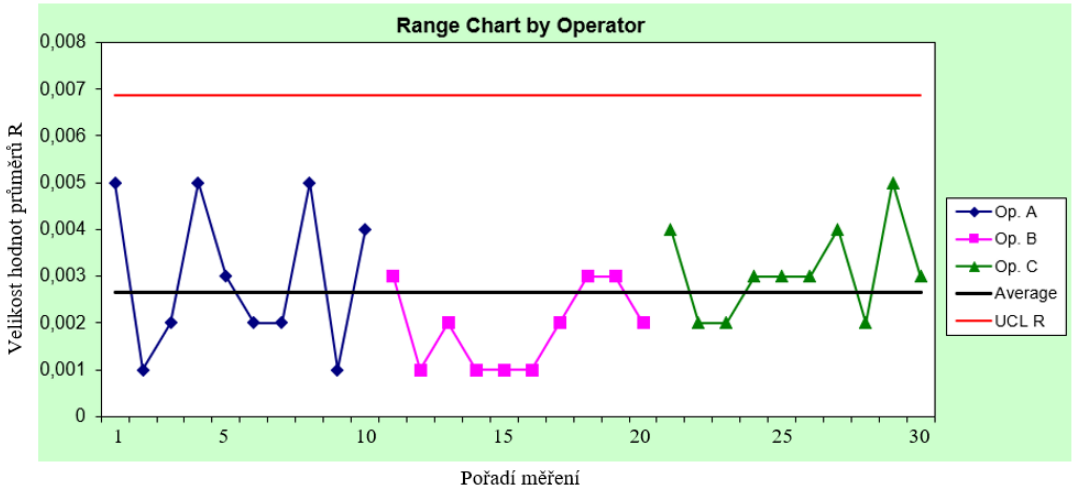
$$R_{1A} = \left|max\left(x_{1jA}\right) - min\left(x_{1jA}\right)\right| = |33{,}675 - 33{,}67| = 0{,}005$$

$$\bar{R}_A = \frac{1}{g}\sum_{i=1}^{g} R_{iA} = \frac{0{,}005 + 0{,}001 + \ldots + 0{,}004}{10} = 0{,}003\ mm$$

$$\bar{\bar{R}} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \bar{R}_k = \frac{\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C}{3} = \frac{0{,}003 + 0{,}0019 + 0{,}0031}{3} = 0{,}00267\ mm$$

$$UCL_R = D_4 \cdot \bar{\bar{R}} = 2{,}574 \cdot 0{,}00267 = 0{,}00687\ mm$$

$$LCL_R = D_3 \cdot \bar{\bar{R}} = 0 \cdot 0{,}00267 = 0$$




Obrázek 24 Jednotlivá rozpětí operátorů – opakované měření

Z grafu na obrázku 24 je patrné, že proces je ve statisticky zvládnutém stavu a naměřené hodnoty se pohybují v regulačních mezích daných přímkou UCL a LCL.

$$\bar{x}_{1A} = \frac{1}{j}\sum_{j=1}^{m} x_{1jA} = \frac{33{,}67 + 33{,}675 + 33{,}67}{3} = 33{,}67166\ mm$$

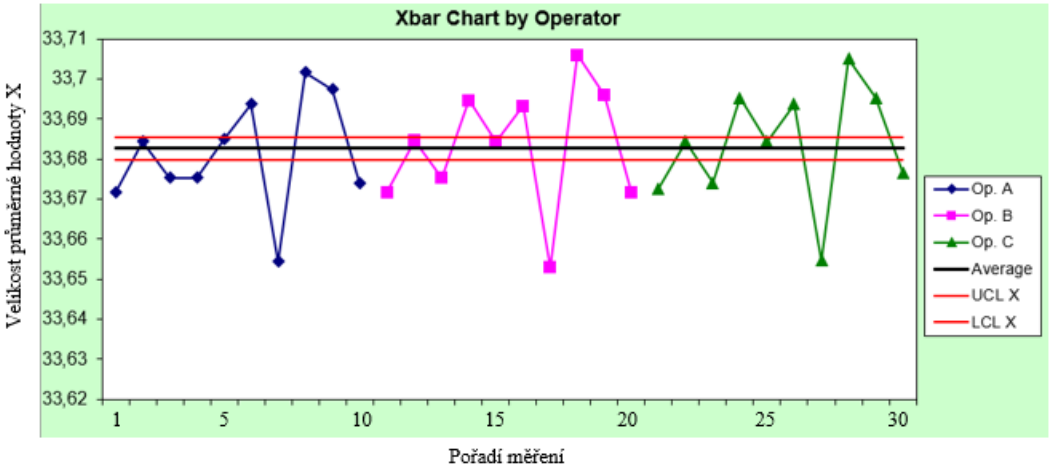
$$\bar{x}_{A} = \frac{1}{g}\sum_{i=1}^{g} x_{1A} = \frac{33{,}67167 + 33{,}68433 + \ldots + 33{,}674}{10} = 33{,}68127\ mm$$

$$\bar{x}_{1} = \frac{1}{m \cdot n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} x_{1jA} = \frac{(33{,}67 + \ldots + 33{,}675)}{3 \cdot 3} = 33{,}672\ mm$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \bar{x}_{k} = \frac{33{,}672 + 33{,}68444 + \ldots + 33{,}67411}{10} = 33{,}68264\ mm$$

$$UCL_x = \bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{\bar{R}} = 33{,}68264 + 1{,}023 \cdot 0{,}00267 = 33{,}68537\ mm$$

$$LCL_x = \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{\bar{R}} = 33{,}68264 - 1{,}023 \cdot 0{,}00267 = 33{,}6799\ mm$$




Obrázek 25 Jednotlivé hodnoty průměrů $\bar{x}$ operátorů – opakované měření

Graf na obrázku 25 ukazuje, že u každého operátora se vyskytuje 8 hodnot, které jsou mimo toleranční meze pro průměry. Závěrem může být řečeno, že systém měření pro zjištění variability mezi díly je vhodný. Systém měření může vzorky od sebe vzájemně odlišit.

$$R_0 = max(\bar{x}_i) - min(\bar{x}_i) = 33{,}6836 - 33{,}68127 = 0{,}00233\ mm$$

$$R_p = max(\bar{x}_i) - min(\bar{x}_i) = 33{,}7422 - 33{,}654 = 0{,}05022\ mm$$

## 3.2 Nový výpočet hodnot pro EV, AV, GRR, PV, TV

$$EV = \sigma_e = \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2^*} = \frac{0{,}00267}{1{,}693} = 0{,}00157708 \doteq 0{,}0016$$

**Stanovení reprodukovatelnosti měření (AV – Appraiser Variation)**

$$AV = \sqrt{(\sigma_0)^2 - \frac{(EV)^2}{n \cdot r}} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{R_0}{d_2^*}\right)^2 - \frac{(EV)^2}{n \cdot r}} = \sqrt{\left(\frac{0{,}00233}{1{,}91155}\right)^2 - \frac{(0{,}00157708)^2}{10 \cdot 3}} = 0{,}00118 \doteq 0{,}0012$$

**Stanovení reprodukovatelnosti a opakovatelnosti měření (GRR – Gage Repeatability & Reproducibility)**

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} = \sqrt{(0{,}00157708)^2 + (0{,}001184)^2} = 0{,}001972 \doteq 0{,}002$$

**Stanovení variability mezi měřenými kusy (PV – Parts Variation)**

$$PV = \sigma_p = \frac{R_p}{d_2^*} = \frac{0{,}05022}{3{,}17905} = 0{,}01579 \doteq 0{,}0158$$

**Stanovení celkové variability (TV – Total Variation)**

$$TV = \sqrt{(GRR)^2 + (PV)^2} = \sqrt{(0{,}001972)^2 + (0{,}01579)^2} = 0{,}01591 \doteq 0{,}0159$$

## 3.3 Nové vyjádření opakovatelnosti a reprodukovatelnosti variability mezi kusy v procentech z celkové variability

**Vyjádření opakovatelnosti v %**

$$\%EV = \frac{EV}{TV} \cdot 100 = \frac{0{,}00157708}{0{,}01591} \cdot 100 = 9{,}91\%$$

**Vyjádření reprodukovatelnosti v %**

$$\%AV = \frac{AV}{TV} \cdot 100 = \frac{0{,}001184}{0{,}01591} \cdot 100 = 7{,}44\%$$

**Vyjádření opakovatelnosti a reprodukovatelnosti v %**

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100 = \frac{0{,}001972}{0{,}01591} \cdot 100 = 12{,}39\%$$

**Vyjádření variability mezi kusy v %**

$$\%PV = \frac{PV}{TV} \cdot 100 = \frac{0{,}01579}{0{,}01591} \cdot 100 = 99{,}25\%$$

### 3.3.1 Nové vyhodnocení podílu rozptylu vyvolaného opakovatelností a reprodukovatelností

$$P_{EV} = \frac{(EV)^2}{(GRR)^2} \cdot 100 = \frac{(0{,}00157708)^2}{(0{,}001972)^2} \cdot 100 = 64\%$$

$$P_{AV} = \frac{(AV)^2}{(GRR)^2} \cdot 100 = \frac{(0{,}001184)^2}{(0{,}001972)^2} \cdot 100 = 36\%$$

### 3.3.2 Nové stanovení počtu rozlišitelných skupin (ndc – Number of Distinct Categories)

$$ndc = 1{,}41 \cdot \frac{PV}{GRR} = 1{,}41 \cdot \frac{0{,}01579}{0{,}001972} = 11{,}29 \Rightarrow 11$$

Výpočtem bylo zjištěno, že systém měření je způsobilý (GRR 12,39%) a hodnota ndc (11) je vyhovující.

## 3.4 Porovnání a vyhodnocení nápravného opatření s původními daty

Tato část obsahuje srovnání vlivu nápravného opatření s původním stavem, a to v podobě statistických výpočtů a grafického srovnání. Provedeme srovnání původních dat s novými daty po přijetí nápravných opatření a z výsledků učiníme závěr. Výpočty i grafy byly vytvořeny v programu Minitab.

Tabulka 8 Srovnání výstupů z programu Minitab – původní a nová data

**Gage R&R Study - XBar/R Method**

| Source | VarComp | %Contribution (of VarComp) |
|---|---|---|
| Total Gage R&R | 0,0192961 | 64,12 |
| Repeatability | 0,0188866 | 62,76 |
| Reproducibility | 0,0004095 | 1,36 |
| Part-To-Part | 0,0107980 | 35,88 |
| Total Variation | 0,0300941 | 100,00 |

| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 * SD) | %Study Var (%SV) |
|---|---|---|---|
| Total Gage R&R | 0,138910 | 0,83346 | 80,07 |
| Repeatability | 0,137429 | 0,82457 | 79,22 |
| Reproducibility | 0,020235 | 0,12141 | 11,66 |
| Part-To-Part | 0,103913 | 0,62348 | 59,90 |
| Total Variation | 0,173476 | 1,04086 | 100,00 |

Number of Distinct Categories = 1

**Gage R&R Study - ANOVA Method**

**Two-Way ANOVA Table With Interaction**

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Měř.1-10 | 9 | 0,82030 | 0,0911447 | 1,63714 | 0,178 |
| Operátor | 2 | 0,06137 | 0,0306834 | 0,55113 | 0,586 |
| Měř.1-10 * Operátor | 18 | 1,00212 | 0,0556733 | 2,64901 | 0,002 |
| Repeatability | 60 | 1,26100 | 0,0210166 | | |
| Total | 89 | 3,14479 | | | |

Alpha to remove interaction term = 0,25

**Gage R&R**

| Source | VarComp | %Contribution (of VarComp) |
|---|---|---|
| Total Gage R&R | 0,0325688 | 89,20 |
| Repeatability | 0,0210166 | 57,56 |
| Reproducibility | 0,0115522 | 31,64 |
| Operátor | 0,0000000 | 0,00 |
| Operátor*Měř.1-10 | 0,0115522 | 31,64 |
| Part-To-Part | 0,0039413 | 10,80 |
| Total Variation | 0,0365101 | 100,00 |

| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 * SD) | %Study Var (%SV) |
|---|---|---|---|
| Total Gage R&R | 0,180468 | 1,08281 | 94,45 |
| Repeatability | 0,144971 | 0,86983 | 75,87 |
| Reproducibility | 0,107481 | 0,64489 | 56,25 |
| Operátor | 0,000000 | 0,00000 | 0,00 |
| Operátor*Měř.1-10 | 0,107481 | 0,64489 | 56,25 |
| Part-To-Part | 0,062780 | 0,37668 | 32,86 |
| Total Variation | 0,191076 | 1,14646 | 100,00 |

Number of Distinct Categories = 1

**Gage R&R Study - XBar/R Method**

| Source | VarComp | %Contribution (of VarComp) |
|---|---|---|
| Total Gage R&R | 0,0000039 | 1,54 |
| Repeatability | 0,0000025 | 0,98 |
| Reproducibility | 0,0000014 | 0,56 |
| Part-To-Part | 0,0002494 | 98,46 |
| Total Variation | 0,0002533 | 100,00 |

| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 * SD) | %Study Var (%SV) |
|---|---|---|---|
| Total Gage R&R | 0,0019725 | 0,0118349 | 12,39 |
| Repeatability | 0,0015751 | 0,0094507 | 9,90 |
| Reproducibility | 0,0011873 | 0,0071239 | 7,46 |
| Part-To-Part | 0,0157932 | 0,0947589 | 99,23 |
| Total Variation | 0,0159159 | 0,0954951 | 100,00 |

Number of Distinct Categories = 11

**Gage R&R Study - ANOVA Method**

**Two-Way ANOVA Table With Interaction**

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Měř.1-10 | 9 | 0,0168868 | 0,0018763 | 43,8189 | 0,000 |
| Operátor | 2 | 0,0000897 | 0,0000448 | 1,0473 | 0,371 |
| Měř.1-10 * Operátor | 18 | 0,0007708 | 0,0000428 | 16,9770 | 0,000 |
| Repeatability | 60 | 0,0001513 | 0,0000025 | | |
| Total | 89 | 0,0178986 | | | |

Alpha to remove interaction term = 0,25

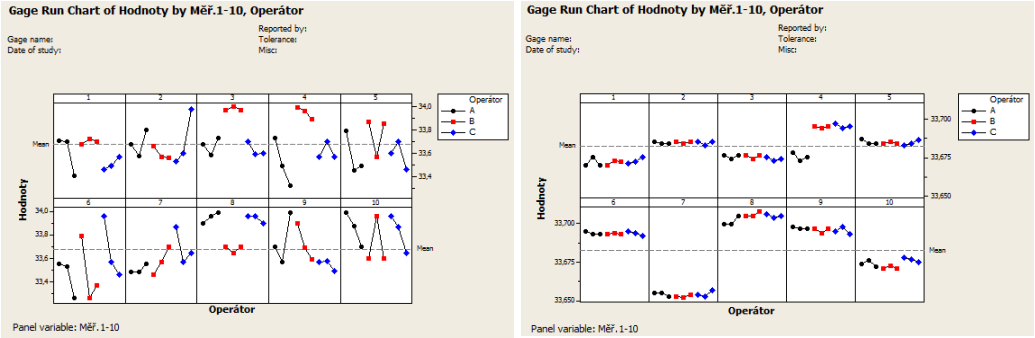
**Gage R&R**

| Source | VarComp | %Contribution (of VarComp) |
|---|---|---|
| Total Gage R&R | 0,0000160 | 7,29 |
| Repeatability | 0,0000025 | 1,15 |
| Reproducibility | 0,0000135 | 6,14 |
| Operátor | 0,0000001 | 0,03 |
| Operátor*Měř.1-10 | 0,0000134 | 6,11 |
| Part-To-Part | 0,0002037 | 92,71 |
| Total Variation | 0,0002197 | 100,00 |

| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 * SD) | %Study Var (%SV) |
|---|---|---|---|
| Total Gage R&R | 0,0040028 | 0,0240167 | 27,00 |
| Repeatability | 0,0015882 | 0,0095289 | 10,71 |
| Reproducibility | 0,0036742 | 0,0220454 | 24,79 |
| Operátor | 0,0002598 | 0,0015587 | 1,75 |
| Operátor*Měř.1-10 | 0,0036650 | 0,0219902 | 24,72 |
| Part-To-Part | 0,0142731 | 0,0856387 | 96,29 |
| Total Variation | 0,0148238 | 0,0889426 | 100,00 |

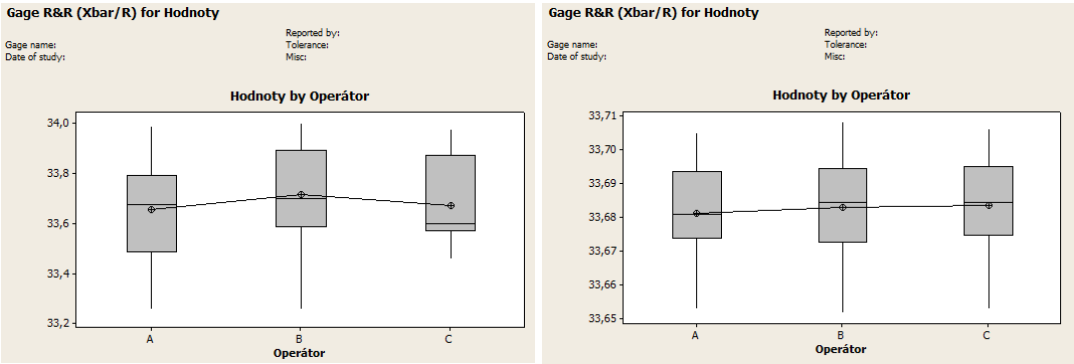
Number of Distinct Categories = 5

Z výstupu programu Minitab lze usoudit, že nápravná opatření měla vliv na velikost hodnot celkové variability systému a hodnota ndc je vyhovující.



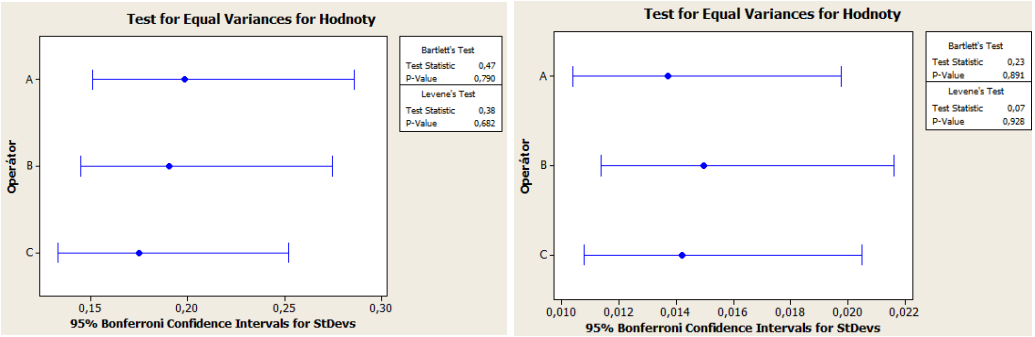

Obrázek 26 Srovnání průběhového diagramu – původní a nová data

Porovnáním grafů na obrázku 26 lze vypozorovat zmenšení rozptylu měřených jednotlivých součástí u všech tří operátorů.



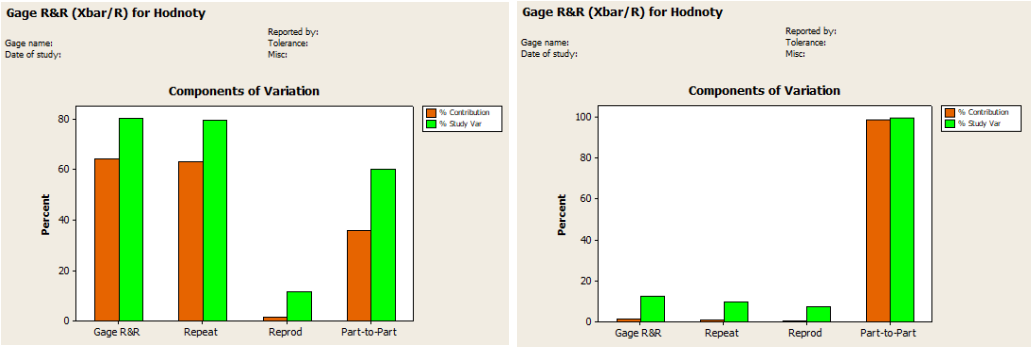

Obrázek 27 Diagram středních hodnot operátorů – původní a nová data

Po aplikování nových dat se střední hodnota přiblížila téměř ideální přímce.




Obrázek 28 Test rovnosti rozptylů – původní a nová data

Hodnoty P-value přesahují hladinu významnosti $\alpha = 0{,}05$, a proto nelze zamítnout hypotézu, že rozptyly ve skupinách jsou stejné.




Obrázek 29 Diagram složek variability – původní a nová data

Nápravným opatřením se podařilo snížit hodnoty sloupců Gage R&R, Repeat, Reprod oproti původnímu měření.

Tabulka 9 Porovnání jednotlivých metod

| | Původní data | | | Nová data | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Excel | Minitab - Xbar/R Method | Minitab - Anova | Excel | Minitab - Xbar/R Method | Minitab - Anova |
| GRR | 0,13883 | 0,13891 | 0,180468 | 0,002 | 0,0019725 | 0,0040028 |
| EV | 0,1374 | 0,137429 | 0,144971 | 0,0016 | 0,0015751 | 0,0015882 |
| AV | 0,02014 | 0,020235 | 0,107481 | 0,0012 | 0,0011873 | 0,0036742 |
| PV | 0,10394 | 0,103913 | 0,06278 | 0,016 | 0,0157932 | 0,0142731 |
| TV | 0,1734 | 0,173476 | 0,191076 | 0,159 | 0,0159159 | 0,0148238 |

Z hodnot v tabulce 9 se dá usoudit, že výpočty v programu Excel se téměř shodují s výsledky metody X Bar/R počítaných v programu Minitab. V porovnání výsledků aritmetických průměrů a výsledků metody analýzy rozptylu (ANOVA) jsou odchylky větší. Výhodou metody ANOVA je přesnější odhad rozptylu a možnost získat informace od tzv. interakcí mezi díly a operátory. Rozdíl může způsobovat zmíněná interakce mezi díly a operátory.

# 4 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo analyzovat, vyhodnotit, popřípadě navrhnout nápravná opatření v systému měření ve výrobní firmě.

První část se věnuje teoretickému rozboru systému měření dle metodiky MSA (Measurement System Analysis). Touto metodikou lze provést teoretický rozbor jednotlivých statistických vlastností. Zmiňují se zde tři základní způsoby vyhodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření. Jedná se o metodu založenou na průměru, metodu průměru a rozpětí a poslední metodou je ANOVA (Metoda založená na analýze rozptylu).

Praktická část se věnuje vyhodnocení současného stavu systému měření. Pro analýzu bylo provedeno měření na deseti dílech, třemi operátory ve shodných podmínkách. Po vyhodnocení výpočtů a grafických výstupů byl systém měření shledán nevyhovujícím. Byl proveden rozbor možností, jež ovlivňují současný stav, a navržena a zavedena příslušná nápravná opatření.

Poslední část se věnuje vyhodnocení zavedených nápravných opatření a jejich vlivu na systém měření ve srovnání s původním stavem. Vyhodnocení systému po zavedení nápravných opatření bylo provedeno shodným způsobem jako původní analýza stavu systému měření. Z výpočtů a grafických výstupů lze konstatovat, že systém měření může být považován za podmíněně způsobilý. K udržení optimálního stavu byla navržena další opatření. Nákup nového digitálního třmenového mikrometru (25–50 mm, rozlišení 0,001 mm), levnější varianta je bez výstupu dat. Vyvěšení návodu „Jak správně měřit“ v prostoru, který byl určený jako měřící místo. V pravidelných intervalech provádět školení operátorů s praktickou zkouškou.

# Seznam použité literatury


[1] *Analýza systémů měření: příručka*. 4. vyd. Přeložil Ivana PETRAŠOVÁ. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. ISBN 978-80-02-02326-5.

[2] PLURA, Jiří. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Praha: Computer Press, 2001. Business books. ISBN 80-7226-543-1

[3] NĚMEČEK, Pavel. *Nejistoty měření*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. Kvalita - quality - Qualität. ISBN 978-80-02-02089-9.

[4] JURAN, Joseph M. a Joseph A. DE FEO, ed. *Juran's quality handbook: the complete guide to performance excellence*. 6th ed. New York: McGraw-Hill, c2010. ISBN 978-0-07-162973-7.

[5] BARRENTINE, Larry B. *Concepts for R&R studies*. 2nd ed. Milwaukee: ASQ Quality Press, c2003. ISBN 0-87389-557-6.

[6] PERNIKÁŘ, Jiří. *Jakost a metrologie: část: metrologie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1997-0. Skripta. Vysoké učení technické v Brně.

[7] HNÁTEK, Jan. *Komentované vydání normy ČSN EN ISO 9001:2016 Systémy managementu kvality - Požadavky*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2016. ISBN 978-80-02-02642-6. Komentáře.

[8] REQUEST´06. Sborník příspěvků 1. konference, Centra pro jakost a spolehlivost výroby. Praha, 30.1.–1.2.2007 ISBN 978-80-01-03709-6 [online] [cit. 2019-02-15] http://www.statspol.cz/cs/wp-content/uploads/2013/05/request2006/request.pdf

[9] PLURA, Jiří. *Plánování jakosti II*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2588-5. Skripta. VŠB-TUO

[10] PETŘKOVSKÁ, Lenka a Lenka ČEPOVÁ. *Metrologie a řízení kvality: učební text*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2771-1. Skripta

[11] Durivage, Mark A. *Practical Attribute and Variable Measurement Systems Analysis (MSA): A Guide for Conducting Gage R&R Studies and Test Method Validations*. Hardcover, 168 pages, Publikováno 2015. ISBN: 978-0-87389-915-4

[12] Stamatis, D. H. *Quality Assurance Applying, Methodologies for Launching New Products, Services, and Customer Satisfaction*. Hardcover, Publikováno 2015. ISBN: 978-1-49872-868-3

[13] RYAN, Thomas P. *Statistical methods for quality improvement. 3rd ed*. Hoboken, N.J.: Wiley, 704 s, Publikováno 2011. ISBN 978-0-470-59074-4.

[14] NENADÁL, Jaroslav a kol. *Management kvality pro 21. století.* Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-80-726-1561-2.

[15] Bucher, Jay L. *The quality calibration handbook: Developing and managing a calibration program.* ASQ Quality press, Milwaukee, Publikováno 2006. ISBN 978-0-87389-704-4.

[16] Brassar, Michael. *The Six Sigma memory Jogger II: A pocket guide of tools for Six Sigma improvement teams.* Goal/Qpc (Nh), Publikováno 2017. ISBN 978-1-57681-044-6.

[17] KONEČNÝ, V. *Hodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření.* [online]. 2015 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z http://slideplayer.cz/slide/2443794/.

[18] TOŠENOVSKÝ, J.; NOSKIEVIČOVÁ, D. *Statistické metody pro zlepšování jakosti.* Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-7225-040-X.

# Seznam obrázků

# Seznam tabulek